



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# **RAUTATIEALUEIDEN VALAISTUS JA LED- VALAISTUKSEN TUOMAT MAHDOLLISUU- DET RAUTATIEALUEVALAISTUKSESSA**

Juuso Niinivaara

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2017  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Sähköinen talotekniikka



# TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Sähköinen talotekniikka

NIINIVAARA, JUUSO:

Rautatiealueiden valaistus ja LED-valaistuksen tuomat mahdollisuudet rautatiealuevalaistuksessa

Opinnäytetyö 58 sivua  
Toukokuu 2017

---

Elohopeahöyrylamppujen poistuttua markkinoilta vuonna 2015 Euroopan komission säädösten johdosta syntyi eräänlainen muutostila katuvalaistukseen. Tällöin myös valotehokkuusvaatimukset muuttuivat, ja näin uusille, energiatehokkaille ratkaisuille on syntynyt aivan uudenlaista kysyntää ulkovalaistusmarkkinoilla. LED-valaisimet ovat kehittyneet nopealla tahdilla viimeisten vuosien aikana, ja ne ovatkin jo nyt varsin varteenotettava vaihtoehto uusien ja uusittavien kohteiden suunnittelussa.

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin rautatiealuevalaistuksen nykyistä tilaa, siellä käytettäviä lamppu- ja valaisintyyppejä ja vertailtiin niitä LED-valaisimien tuomaan uuteen teknologiaan. Työssä perehdyttiin siihen, miksi juuri LED-valaistus kannattaa, kun punnitaan ja valitaan korvausvaihtoehtoja vanhoille elohopeahöyryvalaisimille, joita on aikaisemmin käytetty runsaasti sekä tie- että aluevalaistuksessa. Energiatehokkuuden lisäksi LED-valaisimet tuovat aivan uudenlaisia ohjausmahdollisuuksia verrattuna vanhoihin purkauslamppuvalaisimiin, ja tämän työn tarkoituksena olikin punnita ja pohtia näitä mahdollisuuksia juuri rautatiealuevalaistukseen.

LED-valaistukseen siirryttäessä voidaan myös rautatiealueilla hyödyntää valaistuksen tarpeenmukaista ohjausta ja säätöä. Valaistusta on mahdollista ohjata esimerkiksi ihmisten ja junien liikkeen mukaisesti, ja tämä voi tuoda suuriakin säästöjä sähköenergiankulutukseen hiljaisemmilla rataosuuksilla. Järjestelmien korkeat hankintahinnat kuitenkin rajoittavat taloudellista hyödyntämistä toistaiseksi. Älykkäällä, etäohjatulla valaistuksen ohjausverkolla voidaan säästää huoltokustannusten pienentyessä, kun esimerkiksi valaistuksen tarkastus- ja huoltokäyntejä etäällä olevissa kohteissa voidaan vähentää.

Työ tuo esille myös rautatiealueiden nykyiset standardeihin SFS-EN 12464-2 ja SFS-EN 12464-1 perustuvat valaistustekniset vaatimukset, jotka on mainittu Liikenneviraston maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnitteluohjeessa. Työssä keskityttiin case-tilanteen suunnittelutyön vuoksi enemmän rautateiden matkustaja-aluevalaistukseen erityisesti hiljaisen liikenteen alueella.

---

Asiasanat: led, elohopeahöyrylamppu, suurpainenaatriumlamppu, rautatiealuevalaistus

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Building Services Engineering  
Electrical Building Services Engineering

NIINIVAARA, JUUSO:

Lighting of Railway Areas And the Possibilities That LED Lighting Provides in Railway Environment

Bachelor's thesis 58 pages

May 2017

---

The purpose of this thesis was to prove that LED luminaires are the right solution to replace mercury vapor lamps in railway area lighting. Because of EU directives 245/2009 (ErP) and 347/2010 (ErP), all mercury vapor lamps, mercury hybrid lamps and many sodium vapor lamps are no longer permitted to be placed on the market in the European Union. These lamp types are traditionally used in road and street lighting, and are still characteristic of public lighting in many locations.

LED-lights provide better energy efficiency compared to conventional street lighting. In addition to economic efficiency, LED lighting solutions also offer the opportunity for easy lighting control. The lights can be connected to intelligent lighting control systems, where it is possible to monitor, manage and measure the lighting through different applications.

Lighting controlling systems are a smart way to save energy in railway areas. However, system prices need to be a bit lower to make it profitable in railway environment. On the other hand, savings could be made by using remote lighting management systems, which enables money savings in maintenance costs.

This thesis examines which kind of control systems are used on railway areas right now. In addition to that there are also some examples of how lighting controlling and adjustment can be done with the new technology that LED-lights provide. An example case is also provided on how a new LED lighting for a small, low traffic passenger station area is designed, and what kind of calculations are needed in the process. Discussion is also given on the most important lighting requirements for railway areas.

---

Key words: railway, led, mercury vapor lamp, sodium vapor lamp

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	MUUTOSTILA KATUVALAISTUKSESSA .....	9
3	RAUTATIEALUEIDEN VALAISTUS.....	11
3.1	Suurpainenatriumlamppu .....	11
3.2	Elohopeahöyrylamppu .....	12
3.3	Monimetallilamppu.....	12
3.4	Induktiolamppu .....	13
3.5	LED.....	13
3.5.1	LED-moduulin elinikä .....	14
3.5.2	LED-liitäntälaitteen elinikä.....	15
3.6	Lampputyypien vertailu .....	15
3.7	Rautatievalaistuksen energiankulutus .....	17
3.8	Valaistustarkastukset ja huolto .....	18
4	RAUTATIEALUEVALAISTUKSEN OHJAUS.....	19
4.1	Tämänhetkinen tilanne valaistuksen ohjauksessa.....	19
5	LED-VALAISTUSTEKNIIKAN OHJAUS .....	21
5.1	Rautatiealueille sopivat ohjausperiaatteet.....	21
5.1.1	Analoginen 1 – 10 V tasajänniteohjaus.....	22
5.1.2	DALI .....	22
5.2	Tarpeenmukainen valaistuksen ohjaus .....	23
5.2.1	Vakiovalovirtaohjaus .....	23
5.2.2	Himmennykset .....	24
5.2.3	Liiketunnistus.....	24
5.3	Älykäs valaistuksenohjausverkko.....	25
5.4	Keskitetty valaistuksen ohjaus.....	25
6	VALAISTUSTEKNILLISET VAATIMUKSET.....	27
6.1	Valaistusteknilliset suureet .....	27
6.1.1	Vaakatason valaistusvoimakkuus.....	27
6.1.2	Pystytason valaistusvoimakkuus.....	27
6.1.3	Valaistusvoimakkuuden yleistasaisuus .....	28
6.1.4	Häikäisy $R_{GL}$ .....	28
6.1.5	Värintoistoindeksi $R_a$ .....	28
6.2	Aluejaottelu.....	28
6.2.1	Matkustaja-alueet .....	29
6.2.2	Ratapihojen seisonta- ja huoltoraiteet sekä vaihtotyö- ja kuormausalueet.....	30

6.2.3	Junien huolto- ja järjestelyratapihat .....	32
6.2.4	Rautatietunnelit .....	33
6.3	Häiriövalo .....	34
6.4	Valaistustason alenemakerroin .....	35
6.4.1	LED-valaisimien alenemakerroin .....	36
7	CASE-TILANNE MYLLYMÄEN SEISAKE.....	38
7.1	Vanha valaistus .....	38
7.2	Ratapihan luokittelu .....	41
7.3	Valaistusteknilliset laskennat.....	42
7.3.1	Laskenta- ja mittauspisteverkko.....	42
7.3.2	Junan pystypinnat.....	43
7.3.3	Suurin häikäisyarvo.....	43
7.3.4	Valitut valaisimet .....	44
7.3.5	Valaistusteknillisten vaatimusten täyttyminen.....	45
7.3.6	Uuden valaistuksen visuaalinen tarkastelu.....	46
7.3.7	Energiatehokkuuden arvioiminen .....	46
7.4	Uuden valaistuksen ohjausvaihtoehdot.....	48
7.4.1	AstroDIM .....	48
7.4.2	Vakiovalovirta-ohjaus .....	50
7.4.3	C2 SmartLight ohjausjärjestelmät, itsenäinen valaistusverkko tai keskusjärjestelmä.....	50
7.5	Ohjauksen kannattavuus kohteessa.....	51
7.5.1	C2 Lumo -ohjaus kahdella liiketunnistimella .....	52
7.5.2	Keskitetty ohjaus, säästöt valaisinhuollossa .....	52
8	POHDINTA.....	53
	LÄHTEET.....	55

**LYHENTEET JA TERMIT**

CLO	Constant Light (tai Lumen) Output, vakiovalovirta.
DALI	Digital Addressable Lighting Interface, standardisoitu digitaalinen valonohjausprotokolla.
DMX	Digital MultipleX. Valaistustekniikassa käytettävä digitaalinen ohjausperiaate.
DSI	Digital Serial Interface, Valaistustekniikassa käytettävä digitaalinen ohjausperiaate.
ECG	Electronic Control Gear, valaisimen elektroninen liitäntälaite.
GPS	Global Positioning System. Maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä.
LED	Light-Emitting Diode, valoa säteilevä puolijohdekomponentti.
$R_a$	Yleinen värintoistoindeksi, kuvaa kuinka hyvin ja oikein valonlähde toistaa värejä. Maksimiarvo 100.

## 1 JOHDANTO

Aivan kuten maantie- ja katuvalaistusmaailmassa, myös rautatiealueilla tulee tulevaisuudessa kiinnittää huomiota valaistuksen ohjaukseen uusissa ja uusittavissa kohteissa. Markkinoilla parhaillaan yleistyvät LED-valaisimet ovat sekä energiankulutukseltaan että valon säätöominaisuuksiltaan omaa luokkaansa aiemmin käytettyihin purkauslamppuvalaisimiin verrattuna. LED-valaisimien yleisyyttä rajoittivat aiemmin varsin nuori ja tuntematon tekniikka, sekä pitkäaikaisten käyttökokemusten puute. Lisäksi valaisimet komponentteineen olivat varsin kalliita muihin valaisinvaihtoehtoihin verrattuna. Tekniikan kehitys sekä hintojen lasku on kuitenkin ollut viime vuosina niin nopeaa, että LEDiä pidetäänkin jo nyt hyvin suositeltuna vaihtoehtona aluevalaistuksen toteuttamiseksi.

Erityisesti katuvalaistuksessa paljon käytettyjen elohopeahöyrylampputen markkinoille tuonnin kieltä vuonna 2015 aiheuttaa myllerrystä ulkovalaistusmaailmassa. Samalla kiellettiin myös elohopeavalaisimien lampputen suoraan korvaavia tuotteita, vedoten uusiin energiansäästöön tähtääviin valotehokkuusvaatimuksiin. Tämä luo pohjan tietynlaiselle muutostilalle katu- ja aluevalaistuksessa, ja uusille tekniikoille on paljon kysyntää markkinoilla. Tässä työssä on tarkoitus tuoda esille LED-valaisimien ominaisuuksia verrattuna purkauslamppuvalaisimien ominaisuuksiin, sekä sen tuomia uusia vaihtoehtoja valaistuksen ohjauksen näkökulmasta. Lisäksi tarkoitus on tarkastella niitä ohjaustapoja, joita voitaisiin juuri rautatiealuetaloudessa hyödyntää. Työssä selvitetään rautatiealueiden valaistuksen nykyistä tilaa, sen ohjausta ja mahdollisia uusia tapoja siihen, miten energiasäästöihin päästään.

Tämän insinööritöiden työosuutena aloitettiin uuden LED-valaistuksen suunnittelu Myllymäen henkilöseisakkeelle, Ähtäriin. Työssä pohditaan myös LED-tekniikan mahdollistamia uusia valaistuksen ohjaus- ja säätötapoja kyseisessä kohteessa, jonka liikennemäärä on vähäinen. Taloudellisia kustannuksia tai säästöjä ei työssä kuitenkaan tarkemmin laskettu. Suunnittelutyö toteutettiin Eltel Networks Oy:lle, jonka Rataverkot-yksikkö vastaa Helsingin ja Tampereen käyttökeskusaluiden sähkörata- ja vahvavirtajärjestelmien kunnossapidoista. Yksikön palveluihin kuuluvat rautateiden sähköistyksen, turvalaitteiden ja ratarakenteiden suunnittelu, materiaalihankinnat, rakentaminen sekä kunnossapito.

Valaistuksen tulee ennen kaikkea palvella sen käyttäjää. Standardien vaatimukset ja Liikenneviraston suunnitteluohjeen määräykset on täytyttävä, ja vasta tämän jälkeen on keskityttävä energiankulutukseen. Tässä työssä käydään läpi myös rautatiealueiden valaistuksen suunnitteluun vaikuttavat standardeihin SFS-EN 12464-2 ja SFS-EN 12464-1 perustuvat valaistusteknilliset vaatimukset ja suureet, jotka ovat mainittu myös Liikenneviraston maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnitteluohjeessa.



## 2 MUUTOSTILA KATUVALAISTUKSESSA

Vuonna 2009 Euroopan komissio antoi uusia asetuksia energiankulutuksen ja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Asetuksilla EY N:o 245/2009 ja EU 347/2010 on suuri vaikutus ulkovalaistukseen. Asetusten myötä elohopealamppujen markkinoille tuonti kiellettiin 13.4.2015 alkaen. Samana päivämääränä kiellettiin pääosin myös elohopealamppuja suoraan korvaavien suurpainenatriumlamppujen markkinoille tuonti, vedoten asetusten valotehokkuusvaatimuksiin. Tuotteiden poistuttua markkinoilta joudutaan valaisimeen vaihtamaan yleensä vähintään lamppu ja liitäntälaitte, koska suoraan elohopealamppun korvaavaa, asetukset (EY) N:o 245/2009 valotehokkuusvaatimukset täyttävää tuotetta ei enää ole saatavilla. Tähän mainitaan poikkeuksena kuitenkin 68 W suurpainenatriumlamppu. (Motiva 2014)

Tilastollisesti vielä vuonna 2011 elohopealamppu näytteli suurinta osaa ulkovalaistuksen valonlähteistä 51,3 prosentin osuudellaan kuntien ja Liikenneviraston valonlähteistä (Rantakallio & Ylinen 2011). Vuonna 2014 painotus oli vaihtunut, sillä Suomen kaupungeilla, kunnilla ja Liikennevirastolla on arvioitu olevan käytössä noin 450 000 – 550 000 kappaletta elohopeavalaisimia sekä noin 700 000 – 800 000 kappaletta suurpainenatriumvalaisimia (Motiva 2014). Lisäksi esimerkiksi Tampereen kaupungin vuoden 2015 tilastoissa suurpainenatriumlamppujen osuus käytetyistä lampputyypeistä on 58 %, kun taas elohopeahöyrylamppujen 23 % (Tampereen kaupunki 2015). Luvut ovat muuttuneet neljässä vuodessa merkittävästi, sillä vielä vuonna 2011 natriumlamppujen osuus Tampereen kaupungin katuvalaistuksessa oli vain 43 %, kun taas elohopeahöyrylamppujen 41 % (Nousiainen 2012).

Kuvassa 1 on havainnollistettu tällä hetkellä kahta yleisintä katuvalaistustyyppiä. Vasemmalle lähtevää katua valaisee suurpainenatriumlampuilla varustetut valaisimet, joiden tuottama valo on oranssinkeltaista. Oikealle haarautuvaa katua valaisee puolestaan melko valkoista, sinertävää valoa tuottava elohopeahöyrylamppu. Vielä vuonna 2015 LED-valaisimien määrä Tampereen kaupungin katuvalaistuksessa oli vain 8 %, mutta tämä määrä on reilusti kasvamaan päin katuvalaistuksessa (Tampereen kaupunki 2015).



KUVA 1. Tampereen kaupungilla käytössä olevaa katuvalaistusta

### 3 RAUTATIEALUEIDEN VALAISTUS

Aivan kuten tievalaistuksessa, myös rautatiealueiden valaistuksessa yleisimpiä valonlähteitä ovat erilaiset kaasupurkauslamput sekä LED-valaisimet. Näiden ratkaisuiden etu on hyvä valotehokkuus sekä pitkä polttoikä. (Liikennevirasto 2015, 87)

Valonlähteiden tärkeimmiksi ominaisuuksiksi Liikenneviraston julkaisussa mainitaan:

- valovirta,
- valotehokkuus (lm/W), liitäntälaitteet mukaan luettuna
- hyötypolttoikä (h),
- kuolleisuus,
- valovirran alenema (%),
- valon väri ja värintoisto,
- himmennysominaisuudet,
- valon suunnattavuus sekä
- hinta.

Lisäksi huomioon on otettava valaisimen liitäntäteho (liitäntälaitteiden tehohäviöt mukaan luettuna), syttymiseen ja palamiseen tarvittavat lisälaitteet, syttymisaika ja uudelleensyttymisaika, lämpövaihteluiden sekä värinän kestävyys, kuvun ja linssien ominaisuudet, heijastimien ominaisuudet ja niin edelleen. (Liikennevirasto 2015, 87)

Seuraavassa on lueteltuna ulkovalaistuksen tyypillisimpiä lampputyyppejä, sekä niiden ominaisuuksia. Rautatiealueilla on tällä hetkellä käytössä erityisesti suurpainenatriumlamppuja, mutta myös elohopeahöyrylamppuja on vielä käytössä matkustaja-alueilla.

#### 3.1 Suurpainenatriumlamppu

Suurpainenatriumlamppu on nykyisin yleisin tie- ja katuvalaistuksen kaasupurkauslampputyypin (Motiva 2012, 3). Lampputyypin ominaisuuksia on verrattain hyvä valotehokkuus sekä pitkä käyttöikä. Suurpainenatriumlampun valo on oranssinkeltaista, ja sen värintoisto on heikkoa. Suurpainenatriumlamppu vaatii valaisimelta sille tarkoitetun liitäntälaitteen. Valotehokkuuden lisäksi suurpainenatriumlamppu ei merkittävästi himmene

elinikänsä aikana. Tyypillinen elinikä lampputyypille vaihtelee välillä 20 000 – 32 000 h. (Sivustot.net 2013)

Suurpainenatriumlampun toiminta perustuu suurpaineisen natriumkaasun kaaripurkaukseen. Lampputyypin vaatii sytytinlaitteen, ja sen syttymisjännite onkin tyypillisesti jopa 2300 – 4000 V. Tämä sytytinlaite voi olla lampussa itsessään tai erillisenä komponenttina. Suurpainenatriumlampun värilämpötila on noin 2100 K, ja sen värintoistoindeksi ( $R_a$ ) on vain 20 – 30. Valotehokkuus vaihtelee 70 – 150 lm/W välillä. (Harsia, P. & Kallioharju, K. 2015)

### 3.2 Elohopeahöyrylamppu

Elohopeahöyrylamppu (kutsutaan myös nimellä elohopealamppu) on takavuosien erittäin yleinen katuvalaistuksen purkauslampputyypin. Lampputyypin on valovoimakkuudeltaan verrattain vaatimaton suurpainenatrium- ja monimetallilamppuun nähden (Motiva 2012, 3). Elohopealamppun valontuotto perustuu sähkömagneettiseen säteilyyn, jota elohopeahöyry lähettää korkeassa lämpötilassa sekä paineessa. Pääosa tästä on näkyvää valoa ja osa ultraviolettisäteilyä. Elohopealamppu tuottaa melko valkoista, sinertävää valoa. Lampun tyypillinen polttoikä on noin 20 000 h. (Sivustot.net 2013)

Elohopealamppun valotehokkuus muihin purkauslamppuihin verrattuna on heikko, maksimissaan noin 60 lm/W. Tämän lisäksi lampputyypin värintoisto on varsin huono ( $R_a$  vain noin 40, värikorjatulla lampulla noin 60). Elohopealamppun valon väri on kylmäsävyinen (3800 K - 4000 K). Elohopealamppu vaatii liitäntälaitteen, mutta se ei tarvitse erillistä sytytinlaitetta. (Harsia, P. & Kallioharju, K. 2015)

### 3.3 Monimetallilamppu

Monimetallilamppu on yleistynyt viime vuosina elohopealamppujen korvaamisen myötä, mutta se on silti vielä varsin vähän käytetty lamppumalli ulkovalaistuksessa. Lampputyypin hyviä puolia ovat erittäin laadukkaat värintoisto-ominaisuudet sekä miellyttäväksi koettu värilämpötila (valkoinen valo, noin 3000 K). Monimetallilamppu on myös verrattain

valotehokas lamppu. Heikkoudeksi voidaan mainita muita lampputyyppejä lyhyempi käyttöikä, joka on noin 12 000 h. (Motiva 2012, 4)

Monimetallilampun purkausputkessa on elohopean lisäksi myös muiden metallien jodideja. Lampputyyppi vaatii korkean sytytysjännitteen ja tätä kautta sytytyslaitteen. Lampun valotehokkuus vaihtelee välillä 75 – 120 lm/W. Säteilyn väriominaisuudet ovat hyvät, värilämpötila välillä 3000 – 6500 K ja värintoistoindeksi ( $R_a$ ) on 60 – 95. Monimetallilampun ominaisuuksiksi voidaan mainita myös lampun lämpenemisen vaativan kahdesta kahteentoista minuuttia, ja jos lamppu sammuu, korkean paineen vuoksi uudelleen- syttymisaika on noin kolmesta neljään minuuttia. (Harsia, P. & Kallioharju, K. 2015)

### 3.4 Induktiolamppu

Suomalaisessa katu- ja tievalaistuksessa esiintyy harvakseltaan myös induktiolamppuja. Induktiolampulla on pitkä käyttöikä, ja sen energiatehokkuus sekä valon laatuominaisuudet ovat hyviä. Kuitenkin lampputyyppin erityisesti aiemmin ollut varsin suuri koko ja rajoitetut valaisin- sekä tehovalikoima ovat rajanneet sen nykyistä yleisempää käyttöä. (Motiva 2012, 2)

Induktiolamppu on loistelamppu, jossa kaasupurkauksen synnyttämä sähkövirta luodaan muuntajaperiaatteella (Harsia, P. & Kallioharju, K. 2015). Lampussa ei ole hehkulankaa tai elektrodeja, vaan siinä on induktiokela, joka aiheuttaa suurtaajuuden energiavirran elohopeakaasuun (Elektroniikkalehti 2014). Induktiolampun hyviksi ominaisuuksiksi voidaan mainita pitkä elinikä, hyvä värintoistoindeksi ( $R_a > 80$ ), sekä hyvä valotehokkuus ( $> 80$  lm/W). (Harsia, P. & Kallioharju, K. 2015).

### 3.5 LED

LED-valaisimet ovat kehittyneet viimeisen viiden vuoden aikana hyvin nopeasti. Tuotekehityksen johdosta valonlähteiden valotehokkuus on kasvanut sekä hinta laskenut. Nämä yhdessä ovat alentaneet LED-valaistuksen elinkaarikustannuksia merkittävästi, ja tämän kehityssuunnan oletetaan jatkuvan vielä tulevienkin vuosien aikana. LED-valaistuksen

yhtenä suurena etuna voidaan pitää myös hyviä himmennysominaisuuksia sekä pitkää elinikää. (Motiva 2014, 12)

LED on tasajännitteellä toimiva puolijohdekomponentti, jonka toiminta perustuu elektroluminenssiin. Valo siis tuotetaan puolijohdediodissa virran avulla. LED edellyttää oikeanapaista tasavirtaa ohjaimen kautta, sillä se johtaa virtaa vain toisessa suunnassa. Syötetävän virran suuruudella pystytään määrittämään, kuinka paljon diodi tuottaa valoa (Hide-a-lite 2017). Kun yksi tai useampi valodiodi liitetään piirikortille, puhutaan LED-moduulista. Moduulin valotehoa hallitaan teho-ohjaimen avulla, jota kutsutaan LED-ohjaimeksi (Glamox 2013). LED-moduuli sisältää LEDien lisäksi optisia, mekaanisia, sähköisiä tai elektronisia komponentteja. Sähköverkkoon liitettävä LED-valaisin koostuu siis LED-moduulin sekä liitäntälaitteen yhdistelmästä (Vesa 2011).

Vuonna 2014 valkoista valoa (3000 – 7000 K) tuottavien LED-valaisimien elinikä oli yleensä 50 000 – 100 000 tuntia. LEDin värintoisto vaihtelee tyypillisesti välillä  $R_a = 60 - 90$ . Tievalaistukselle tarkoitetuille LED-valaisimille valotehokkuusarvot olivat välillä 70 – 130 lm/W. (Liikennevirasto 2015, 88)

Nykyisin ei ole poikkeuksellista, että LEDeille annetaan jopa 130 – 150 lm/W valotehokkuusarvoja valmistajien toimesta. Luvut kuitenkin perustuvat laboratorioympäristössä saatuihin tuloksiin sekunnin murto-osien aikana, eivätkä ne näin vastaa oikeita arvoja LED-valaisimille todellisessa ympäristössä. Valovoimakkuus heikkenee, kun diodit sijoitetaan valaisimiin. Tämä johtuu kohonneesta lämpötilasta sekä valohäviöistä linseissä, heijastimissa ja ohjaimissa. Karkeasti arvioiden jäljelle jää vain noin 60 – 65 % teknisten tietojen arvosta. (Hide-a-lite 2017)

### 3.5.1 LED-moduulin elinikä

LED-moduulien elinikä ilmoitetaan uusimpien kansainvälisten standardien mukaan kahdella arvolla. Näistä arvoista toinen on LED-moduulin elinikä, ja toinen LED-liitäntälaitteen elinikä. Koko valaisimen elinikää määriteltäessä molemmat arvot on otettava huomioon. (Fagerhult 2017)

LED-moduulien elinikää ilmoitettaessa käytetään merkintää  $L_{70}$ ,  $L_{80}$  tai  $L_{90}$ . L-arvo kuvaa valovirran prosentuaalista määrää verrattuna uuden valaisimen valovirtaan, ilmoitetun ajan kuluttua. L-arvon kanssa ilmoitetaan myös B- tai C-arvo, joista B-arvo kuvaa ilmoitetun L-arvon tarkkuutta. Esimerkiksi  $B_{50}$  tarkoittaa, että ilmoitettu valovirta-arvo L on keskiarvolukema (50 % valaisimista käyttäytyy L-arvon tavalla). C-arvo, ”catastrophic failures”-arvo tarkoittaa moduulin täyttä sammumista. Arvo ilmoitetaan yhdessä tunti-määrän kanssa. (Fagerhult 2017)

Esimerkiksi valaisinvalmistajan ilmoittama ” $L_{80}B_{10} 50\,000\text{ h}$ ” tarkoittaa, että 50 000 tunnin kuluttua vain 10 %:ssa valaisimista valovirran määrä on alle 80 % uuden tuotteen valovirrasta (Cheung 2015). Merkintä  $C_{10} 50\,000\text{ h}$  puolestaan indikoi, että 10 % moduuleista ei tuota lainkaan valoa 50 000 tunnin jälkeen (Fagerhult 2017).

### 3.5.2 LED-liitäntälaitteen elinikä

LED-valaisimen liitäntälaitteen elinikään vaikuttavat liitäntälaitteen rakenne, sen sisältämät elektroniset komponentit sekä niiden lämpötila. Liitäntälaitteelle ilmoitetaan mittauspisteen lämpötilan  $t_c$  viitearvo. Tämän mittauspisteen lämpötila ei saisi koskaan olla valmistajan ilmoittamaa arvoa suurempi. Esimerkiksi, kun ilmoitetaan liitäntälaitteen elinikäksi 50 000 tuntia / 10 %, tarkoitetaan, että mikäli  $t_c$ -pisteen lämpötila pysyy ilmoitetun tason alapuolella, enintään 10 % liitäntälaitteista vioittuu 50 000 tunnin kuluessa. (Fagerhult 2017)

## 3.6 Lampputyypien vertailu

Vielä viisi vuotta sitten tievalaistuksessa suosittiin suurpainenatriumlamppuja valaistusratkaisuissa. Kuitenkin, vuoteen 2017 mennessä, LED-valaisimet ovat ottaneet paikkansa suositelluimpana valaistusmenetelmänä (Nousiainen 2017). Sekä tie- että rautatievalaistuksessa käytettyjä lampputyyppejä on vertailtu keskenään Liikenneviraston raportissa maantie- ja rautatiealueiden valaistuksesta (Liikennevirasto 2015, 88). Taulukkoon 1 on lisätty tässä raportissa aiemmin mainitut, nyt myynnistä jo poistettujen elohopeahöyrylamppujen ominaisuudet.

TAULUKKO 1. Valonlähteiden ominaisuusvertailu

Lampputyyppe	Valotehokkuus (lm/W)	Polttoikä (1000 h)	Värintoistoindeksi (R <sub>a</sub> )	Värilämpötila (K)
Suurpainenatrium	70 - 150	12 - 48	20 - 65	2000 - 2200
Monimetalli, keraaminen	70 - 125	5 - 30	65 - 95	2700 - 4200
Induktio	60-80	40 - 60	80	2700 - 4000
LED	70 - 130*	50 - 100**	60 - 90	3000 - 7000
Elohopeahöyry	40 - 60	12 - 20	40 - 55	3800 - 4000

Taulukossa 1 on huomioitava, että LEDien tapauksessa käytetään koko valaisimen valotehokkuusarvoa, eikä ”lampun” valotehokkuusarvoa (\*). Elinikätunnit (\*\*) ovat ilmoitettu arvoille L<sub>80</sub>B<sub>10</sub>, C<sub>10</sub>, lämpötilassa  $t_a = 25\text{ °C}$ . Käytännössä arvot vaihtelevat hyvin paljon sekä valaisintyyppin että käyttösovelluksen mukaan. (Liikennevirasto 2015, 88)

Liikenneviraston hallinnoimilla alueilla valaisimet tulee valita siten, että standardeissa määritellyt valaistusteknilliset vaatimukset kaikilta osin täyttyvät. Lisäksi valaisimien valonjako-ominaisuudet tulevat soveltua hankkeeseen mahdollisimman taloudellisella tavalla (Liikennevirasto 2015, 89). Suurpiirteisesti vanha elohopeavalistus voidaan korvata joko keltaisella suurpainenatriumvalolla, tai vaihtoehtoisesti valkoisella LED- tai monimetallivalolla (Motiva 2014, 5).

Taulukosta 1 voidaan havaita, että verrattuna muihin lampputyyppeihin LED-valaisimien valotehokkuus- ja polttoikämäärät ovat muita ratkaisuja paljon kilpailukykyisempiä. Lisäominaisuuksina hyvät värintoisto-ominaisuudet sekä varsin rajoituksettomat värilämpötilat aina lämpimästä valkoisesta (< 3300 K) kylmään valkoiseen (> 5300 K) ovat ehdottomia valtteja valaisintyyppejä valittaessa nykypäivänä. Kuitenkin, erityisesti tievalaistuksessa liian korkeita värilämpötiloja (> 4500 K) tulee välttää, ellei tälle ole erityistä tarvetta (Liikennevirasto 2015, 89).

Valonlähteenä LEDin ongelma on tähän asti ollut verrattain suuri hankintahinta erityisesti suurpainenatriumvalaistukseen verrattuna. Kustannusvertailussa eri vaihtoehtojen välillä on kuitenkin otettava huomioon myös energia- ja kunnossapitokustannukset koko elinkaaren ajalta (Motiva 2014, 1). Tämä on myös hyvin haasteellista LEDien osalta. Tällä hetkellä ei ole olemassa valaisintyyppille pitkän ajanjakson kokemuseräisiä tietoja taikka



kokemuksia kunnossapitotarpeista ja kustannuksista (Liikennevirasto 2015, 117). Kuitenkin voidaan olettaa, että lähivuosina LED-valaistuksen elinkaarikustannukset tulevat edelleen laskemaan (Motiva 2014, 12).

### 3.7 Rautatievalaistuksen energiankulutus

Rautatiealueilla valaisimien vuotuinen polttoaika on ollut noin 4300 tuntia, josta vuorokautinen polttoaika on vuodenajasta riippuen 5 - 21 tuntia. Valaisinhuolto pyritään tekemään kerran vuodessa, mutta pimentyneet lamput vaihdetaan tarvittaessa. Sähkörataosuuksilla sähköradan rakenteissa sijaitsevat valaisimet ovat ongelmallisia, sillä niiden huolto vaatii sähköradan ajolankaan jännitekatkon sekä työkoneen, jolla valaisimien luokse pääsee. Uusissa valaistusratkaisuissa valaisimia ei asenneta enää radan rakenteisiin, vaan pyritään sijoittamaan ne niin, ettei huoltotoimenpiteet aiheita jännitekatkoa. (Mattila 2010)

Tyypillisesti rautatiealueiden valonlähteinä on käytetty 150 – 1000 W suurpainenatriumvalaisimia. Nykyisin on jäljellä myös 50 – 250 W elohopealamppuvalaisimia, lähinnä henkilöratapihojen laiturikatoksissa, tunneleissa sekä avolaitureiden pylväissä. Rautatiealueiden elohopealamppujen saneerausprojekteja on toteutettu erityisesti Liikenneviraston Etelä-Suomen alueella viime vuosina. LED-valaisimissa, joiden määrä rautatiealueilla kasvaa myös saneerausprojektien myötä, teholumemat vaihtelevat jopa neljän watin valaisimista aina 110 W valaisimiin. (Saari 2017)

LED-valaistuksen ottaessa yhä suurempaa jalansijaa myös rautatievalaistuksessa saneerausten ja uusien kohteiden puolella, myös ongelmakohtia on. Erityisesti ratapihoilla ja suuremmilla rautatiealueilla käytössä olevat valonheittimet ovat vielä toistaiseksi suositeltu suunniteltavaksi suurpainenatriumvalaisimilla. LED-valaisimet kokoluokassa 1 kW – 2 kW ovat rakenteeltaan vielä hyvin isoja, ja täten ongelmallisia asennettaessa vanhoihin valonheitinmastoihin (Nousiainen 2017). Vanhat valonheitinmastot ovat lujuuslaskelmien perusteella suunniteltu aikoinaan kevyemmille suurpainenatriumvalaisimille, ja täten LED-valaisimiin siirtyminen vaatisi huomattavasti hintavampia toimenpiteitä koko mastojen uusimiseen (Saari 2017).

### 3.8 Valaistustarkastukset ja huolto

Valaistus vaatii aina huolto- ja kunnossapitotoimenpiteitä, jotta se toimisi suunnitellulla ja halutulla tavalla. Matkustaja-alueilla sekä järjestelyratapihoilla tulee valaistustarkastus tehdä aina neljän kuukauden välein, muilla alueilla kaksi kertaa vuodessa. Tämän lisäksi kaikki valaistus tulee tarkastaa ja koekäyttää aina heinä-elokuun aikana. (RHK 2009).

Valaistuksen huoltotoimenpiteet sisältävät lampunvaihdot, valaisimien pesun, rikkoutuneiden komponenttien vaihdot ja suuntauksen tarkastuksen. Näin taataan valaistusvaatimusten täyttyminen koko valaistuksen elinkaaren ajan. Pääsääntöisesti valaistushuolto suoritetaan alueen ryhmävaihtona tai tarvittaessa yksittäisvaihtoina. (RHK 2009).

Suurpainenatriumlampuille suoritetaan ryhmävaihto 16 000 käyttötunnin välein, monimetallilampuille 10 000 käyttötunnin välein. Järjestelyratapihoilla valaistuksen ryhmävaihto suoritetaan 12 000 käyttötunnin välein, riippumatta valaisimien lampputyypeistä. Lampunvaihto pitää sisällään pylväskohtaisen sulakkeen vaihdon tarvittaessa, johdon suojan koestuksen sekä havaittujen viallisten kupujen, kuristimien, sytyttimien ja kondensaattorien vikojen korjaamisen. Valaisimet tulee myös pestä ja puhdistaa. (RHK 2009)

Lamppujen yksittäisvaihtoja tulee suorittaa alueilla, joilla 10 % valaisimista havaitaan viallisiksi. Mikäli valaisin sijaitsee niin sanotussa kriittisessä paikassa (portaikossa tai vaikkapa tärkeällä kulkureitillä), suoritetaan yksittäisvaihto välittömästi vian havaitsemisen jälkeen. (RHK 2009)

Nykyisillä LED-valaisimilla on pitkä elinikä muihin valaisintyyppeihin verrattuna. Tämä alentaa huollon ja kunnossapidon kustannuksia merkittävästi. LED-valaisimien huolto-ohjelmaan kuuluu valaisimien puhdistaminen ja rikkoutuneiden osien vaihto- ja korjaustyö. Huolto- ja kunnossapitovälien määrittelyllä on suuri merkitys osana LED-valaistuksen elinkaarilaskentaa (Sirkiä 2013). Huoltosuunnitelmana LED-valaisimille tulee olla vähintään valaisimen pesu 4 – 5 vuoden välein (Saari 2017).

## 4 RAUTATIEALUEVALAISTUKSEN OHJAUS

Nykyisin kaikki uudet valaisimet kannattaa varustaa jonkinlaisella ohjauslaitteella, esimerkiksi vähintään kaksitehokuristimilla ja ennakkoon ohjatulla ohjausreleellä (Motiva 2014, 7). Erityisesti tievalaistuksessa kaikki uusittavat valaistukset tulee varustaa ohjauslaitteella, jolla voidaan himmentää valaistusta (Liikennevirasto 2015, 14).

### 4.1 Tämänhetkinen tilanne valaistuksen ohjauksessa

Rautatiealueiden valaistuksenohjaus on perinteisesti toteutettu varsin hajautetusti. Alueelliset keskuksset ovat erillään toisistaan, ja yhteyksiä eri keskusten ohjausten välillä on rajoitetusti. Esimerkiksi yksittäisellä ratapihalla junansuorittajan tilasta ei usein saada ohjattua alueellista valaistusta kuin osittain. Valaistuksen kaukokäytön mahdollisuus on otettu huomioon valaistussuunnitelmissa vasta reilu kymmenen vuotta. (Koponen 2010, 37)

Perinteisesti rautatiealueen valaistuskeskuksia ohjataan hämärä- ja kellokytkimin. Kellokytkimenä keskuksissa on usein käytetty kaksipiiristä elektronista ohjauskelloa vuorokausi- ja viikko-ohjauksella. Valaistusryhmillä on ollut käytössä ryhmäkohtaisesti A-O-K-kytkimet, sekä kaksi kontaktoria, joista toinen voidaan pudottaa ohjauksen avulla pois. Pudotettua kontaktoria ollaan vuoroteltu vuoroön (niin sanottu yövalaistuksen vuorotelu), jotta polttotunnit kaikille valaisimille pysyisivät tasaisina. Keskuksen valaistusryhmissä on myös täytynyt olla kontaktorikohtaisesti tuntilaskuri, joka on ohjannut lamppujen ryhmävaihtojen suorittamista. (RHK 2009, 21)

Valaistushjauskeskuksissa on ollut käytössä myös säästömuuntajia, jotka ääriasennoissaan vähentävät lamppujen syöttöjännitettä 230 voltista 190 volttiin. Tällä tavalla valaistusta voidaan käyttää kahdella eri käyttöteholla, eli valaistusta pystytään myös himmentämään (Laaksovirta 2016, 14). Säästömuuntajia on kautta aikain ollut käytössä lähinnä isommissa ratapihaympäristöissä (Laurila 2017).

Rautateiden vaihdealueilla sekä työalueilla, esimerkiksi puunlastausalueilla, valaistusta ohjataan yleensä painonapein. Vaihdealueiden valaistusryhmissä painonappiohjauksen lisäksi on usein käytössä myös hämäräkytkin, joka estää valaistuksen käytön liian valoisissa olosuhteissa.

## 5 LED-VALAISTUSTEKNIIKAN OHJAUS

Purkauslamppujen yleisenä ongelmana on, että ne eivät sovellu valonsäätöön erityisen hyvin. Kun monimetalli- ja suurpainenaatriumlamppuja ei ole mahdollista säätää alle 50 prosenttiin ilman muutoksia hyötypoltto- ja valon värissä, ei elohopea- ja induktiolampuilla voida hyödyntää valonsäätöä lähes ollenkaan. LED-valaisimien valonsäätö puolestaan tarjoaa paljon käytännöllisempiä ja taloudellisempia ratkaisuja purkauslampuihin verrattuna. Mahdollisuus on esimerkiksi integroida valaisimet älykkääseen valaistusverkkoon, jolloin niiden valotehokkuutta on mahdollista säätää jopa 0 – 100 % portaattomasti ohjauslaitteiden avulla. (Valve 2015, 10)

LEDin ehdoton hyöty on myös sen lyhyt vasteaika, sillä se syttyy, himmenee ja kirkastuu välittömästi (Glamox 2013, 12). Tästä johtuen LED-valaisimilla ei tievalaistuksessa yleensä hyödynnetä ensisijaisesti vaihesammutusta, vaan kokonaissammutusta ja himmennystä (Nousiainen 2012).

Uudisrakennuskohteissa sekä kohteissa, joissa nykyinen kaapelointi uusitaan, LED-valaistuksen ohjaus tulee toteuttaa keskuskohtaisesti. Mikäli kaapelointia ei uusita, mutta saneerattava kohde on silti riittävän laaja, käytetään ennakoon ohjattuja valaisinkohtaisia ohjauslaitteita. (Liikennevirasto 2015, 14)

LED-moduulia syötetään teholähteellä, jonka on oltava säädettävä. Teholähteen rakenteesta riippuen sitä säädetään joko tyristori- tai transistorisäätimellä tai erillisellä ohjaustavalla, kuten 1 – 10 V tai DALI. Itse LEDin säätömenetelmänä käytetään joko jatkuvan virran säätöä (Constant Current Reduction, CCR) tai pulssinleveysmodulaatiota (Pulse Width Modulation, PWM). (Harsia, P. & Kallioharju, K. & Piikkilä, V. 2015)

### 5.1 Rautatiealueille sopivat ohjausperiaatteet

Tapaa, jolla tietoa siirretään ohjaimen ja valaisimessa olevan elektronisen liitäntälaitteen välillä, kutsutaan valaistuksen ohjausperiaatteeksi. Valitulla ohjausperiaatteella on vaikutusta järjestelmän komponentteihin ja johdotukseen, ja tätä kautta myös hintaan. (Kari 2012)

Tänä päivänä LED-ohjaimia on saatavilla hyvin monenlaisilla eri ohjausprotokollilla. Ohjaus toimii tyypillisesti tietyn tyyppisellä ohjaussignaalilla, kuten DALI, DSI, 1 – 10 V tai DMX:ään perustuen. Tärkeää on tarkistaa, mikä ohjaustapa on sopiva juuri kyseenomaiseen valaisimeen. (Glamox 2013)

Karkeasti nykyisin LED-tehonlähteen ohjaus tapahtuu usein joko analogisesti 1 – 10 V ohjauksena, tai digitalisesti DALI-ohjauksena. Seuraavassa on esitelty näitä kahta eri ohjausperiaatetta.

### **5.1.1 Analoginen 1 – 10 V tasajänniteohjaus**

Himmennettävät 1 – 10 V -liitännällä varustetut liitäntälaitteet tarjoavat kustannustehokkaan tavan yksinkertaisille valaistusjärjestelmille. Käyttöjännitteen lisäksi liitäntälaitteelle tuodaan ohjausjännite kaksinapaisella ohjausjohtimella. Ohjausjännite määrää liitettyjen elektronisten liitäntälaitteiden himmennysasetuksen. Tasavirtasignaalisissa 10 V tarkoittaa maksimivaloisuutta, kun taas 1 V minimivaloisuutta. (OSRAM 2017)

1 – 10 V tasajänniteohjaus toimii ilman ohjelmointia, mutta se on ominaisuuksiltaan varsin joustamaton. Muutostyöt vaativat aina uudelleen johdotuksen, ja jokainen valaistusr ryhmä tarvitsee oman ohjaimen. Ohjaimia ryhmässä voi olla vain yksi. Valot eivät myöskään sammu ohjauspiiristä. (Kallioharju 2015)

### **5.1.2 DALI**

Digital Addressable Lighting Interface, eli DALI, on ohjausstandardi valaisimien digitaaliseen ohjaukseen. Osoitteellisessa kaksisuuntaisessa DALI-järjestelmässä voi olla maksimissaan 64 osoitetta. Näitä järjestelmiä voidaan kuitenkin reitittimien avulla yhdistää, ja muodostaa jopa tuhansien laitteiden kokonaisuuksia (Kallioharju 2015). DALI-liitäntälaitteita voidaan ohjata vapaasti kaksijohtimisen ohjauskaapelin avulla joko yksittäin tai jopa 16 valaistusr yhmässä (OSRAM 2017). Ohjauspiirin kaapelin maksimipituus on 300 m, ja sen on oltava 230 V kestävä. Myös samaa kaapelia verkkosähkön kanssa voidaan hyödyntää. Ohjauspiiriin syötetään virtaa, jonka virranvoimakkuus saa olla enintään 250

mA. Tämä saadaan aikaan liittämällä järjestelmään ulkoinen DALI-virtalähde (Fagerhult 2017).

DALI-kommunikointi voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla; käyttämällä joko osoitteellista järjestelmää ohjelmointineen tai lähettämällä yksinkertaisesti sama signaali kaikille valaisimille, jolloin ohjelmointia ei vaadita (Glamox 2017).

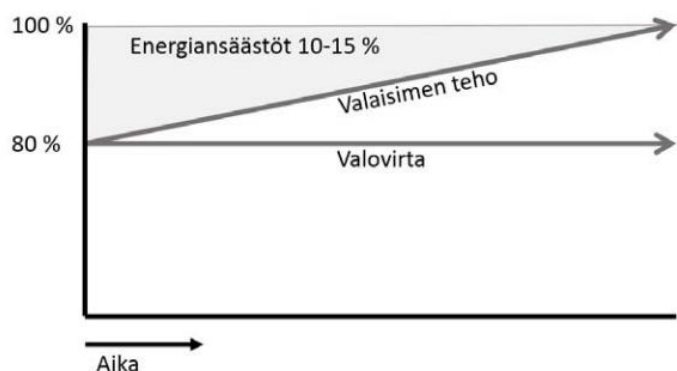
## **5.2 Tarpeenmukainen valaistuksen ohjaus**

Kun valaistusta ohjataan järkevällä ohjauksella, saadaan aikaan maksimaaliset energiansäästöt ja tarpeenmukainen valaistus. Tarpeenmukaisella valaistuksen ohjauksella taataan myös valaisimien pitkä elinkaari. (Greenled 2016)

### **5.2.1 Vakiovalovirtaohjaus**

Kuten muidenkin valonlähteiden, myös LEDien valovirta heikkenee valaisimen käyttöiän aikana (Fagerhult 2017). Vakiovalovirtaohjauksessa (CLO, Constant Light Output) valaisimen liitäntälaitteen teho ohjelmoidaan aluksi alhaisemmaksi. Tehoa nostetaan myöhemmin valaisimen vanhetessa ja sen valovirran heikentyessä. Tällä tavoin saadaan mahdollisimman tasainen valovirta säilymään LED-moduulin käyttöiän ajan, energiaa säästäten (Vialuksi 2014). Menetelmällä pystytään myös minimoimaan valovirran aleneman aiheuttama alkuvaiheen valaistustason ylitysoitus, ja itse valaisimen nimellistehoa (täyttä tehoa) tarvitaankin vasta sen elinkaaren lopussa (Liikennevirasto 2015, 19).

Kuvassa 2 on havainnollistettu vakiovalovirtaohjauksen toimintaa. Kun valaisin on elinkaarensa alussa, sen valovirran alenema on hyvin vähäinen. Tässä tapauksessa valaisimen tehoa rajoitetaan. Kun aikaa kuluu, tehoa nostetaan niin, että vakiovalovirta säilyy. Tästä syntyy myös energiansäästöä verrattain tilanteeseen ilman vakiovalovirtaohjausta, jolloin valaisimen teho olisi koko elinkaaren ajan 100 % (kuva 2). (Liikennevirasto 2015, 18)



KUVA 2. Havainnollistava esimerkki vakiovalovirran toiminnasta (Liikennevirasto 2015, 19)

### 5.2.2 Himmennykset

Tievalaistuksessa himmennuksen ajanjakso sijoittuu tavallisesti aikavälille, jolloin liikennemäärä on vähäinen (Liikennevirasto 2015). Tätä voidaan soveltaa myös rautatie-aluemaailmassa ja henkilölaitureilla. Himmennys voidaan toteuttaa aikoina, kun alueilla ei ole liikennettä, hyödyntäen esimerkiksi läsnäolotunnistusta tai kellonaikahimmennystä.

Yönaikaisella valonohjauksella itsessään voidaan säästää energiaa merkittävästi. Myöhään illalla ja öisin alueiden ei välttämättä tarvitse olla täysin valaistuja. Tehon pudottaminen mahdollistaa energiansäästön ilman, että valot joudutaan sammuttamaan kokonaan. (Fagerhult 2017)

### 5.2.3 Liiketunnistus

Läsnäolo- ja liiketunnistimien yleisenä ongelmana rautatiealueella on niiden suhteessa pieni tunnistusetaisyys. Markkinoilla on kuitenkin esimerkiksi katuvalaistuksen himmentämiseen soveltuvia passiivisia infrapunatunnistimia (PIR). Esimerkiksi Lumine Lighting Solutions Oy:n liiketunnistimen toiminta perustuu sekä standardisoituun infrapunatunnistimeen että sensoridataa prosessoiviin monimutkaisiin algoritmeihin. Tutka tunnistaa sekä kävelijät, pyöräilijät ja jopa 70 km/h kulkevat autoilijat (Lumine 2017).



### 5.3 Älykäs valaistuksenohjausverkko

Älykkäässä valaistuksenohjausverkossa yhdistyvät tietotekniikka ja elektroniikka. Verkoon kytketyt erilaiset laitteet keräävät tietoa, jakavat sitä keskenään ja tätä tietoa hyödynnetään valaistuksen ohjaamisessa. Älykäs valaistuksenohjausverkko voi tulevaisuudessa toimia myös palvelualustana, joka mahdollistaa valaistuksen ohjauksen lisäksi myös muita erilaisia anturitietoja hyödyntäviä palveluita. Palvelualustan älykkyydellä voidaan tavoitella esimerkiksi opastavia tai tiedottavia palveluja, jotka perustuvat kaupunkitilasta kerättyyn dataan. (Tekes 2015)

Tietotekniikan ja elektroniikan yhdistymisessä yhä tiiviimmäksi osaksi keskenään keskustelevia laitteita puhutaan asioiden ja esineiden internetistä (Internet of Things). Tulevaisuuden valaisimet eivät vain valaise, vaan ne voivat myös havainnoida ympäristöään sekä välittää tietoa. Samalla älyvalaistuksella voidaan säästää energiaa jopa 80 % perinteiseen valaistukseen verrattuna. (VTT 2017)

Älykkään valaistuksenohjausverkon hyötynä on, että etenkin kaupunkialueilla verkkoa voidaan myöhemmin hyödyntää olemassa olevana tiedonsiirtoverkkona. Verkon kapasiteetista käytetään vain pieni osa valaistuksen ohjaukseen, ja siinä on siis reilusti potentiaalia muuhunkin tiedonsiirtoon. Esimerkiksi antureilla voitaisiin seurata vaikkapa lumenpaksuutta, jolloin aura-autoille saadaan tietoa alueista, joilla aurausta tarvitaan. (Ääri 2017)

### 5.4 Keskitetty valaistuksen ohjaus

Keskitetyllä valaistuksen ohjausjärjestelmällä mahdollistetaan valaistuksen seuranta, monipuolinen säätö ja ohjaus reaaliaikaisesti myös etänä. Järjestelmää voidaan käyttää vaikkapa internetselaimen kautta. Esimerkiksi Tampereen kaupungilla on käytössä C2 SmartLight Oy:n tarjoama palvelu, jossa katuvalokeskusten valaisimien ohjaus tapahtuu langattomasti puhelinverkon avulla (Nousiainen 2012). Rautatiealueilla järjestelmää käytetään tällä hetkellä Tampereen, Jyväskylän sekä Kouvolan ratapiha-aluevalaistuksessa (C2 SmartLight 2017).

Tampereen, Jyväskylän ja Kouvolan ratapiha-alueilla toteutettiin vuosina 2010 – 2011 ohjausjärjestelmien uudistukset, jolloin C2-järjestelmä otettiin käyttöön. Esimerkiksi valaisimien erillisohjaus onnistuu muutoksen jälkeen matkapuhelimen kautta, eikä huoltohenkilökunnan tarvitse mennä ollenkaan paikan päälle valaistuksen ohjaustarkoituksessa. Lisäksi järjestelmän tarjoama valaistuksen optimointi säästää valaistukseen kuluvan energian määrää. Ohjauskeskuksia Jyväskylän ratapihalla on yhteensä kaksi, Kouvolassa neljä ja Tampereella seitsemän (C2 SmartLight 2017).

## 6 VALAISTUSTEKNILLISET VAATIMUKSET

Rautatiealueiden valaistusteknilliset vaatimukset ovat standardien SFS-EN 12464-2 sekä SFS-EN 12464-1 mukaiset, ja ne perustuvat fotooppiseen fotometriaan. Rautatiealueiden valaistusasennusten on myös täytettävä häiriövalolle asetetut raja-arvot. (Liikennevirasto 2015, 133)

### 6.1 Valaistusteknilliset suureet

Rautatiealueiden valaistusteknisillä vaatimuksilla on tarkoitus taata hyvät valaistusteknilliset olosuhteet kullekin alueilla suoritettaville toimenpiteille. Seuraavat standardiin SFS-EN 12464-2 perustuvat valaistusteknilliset suureet ovat esitetty Liikenneviraston suunnitteluohjeessa (Liikennevirasto 2015)

#### 6.1.1 Vaakatason valaistusvoimakkuus

Vaakatason keskimääräinen valaistusvoimakkuus  $E_{hm}$  on valovirta pinta-alayksikköä kohden, ja sen yksikkö on luks (lx). Tämä tarkoittaa vaakatasossa olevan tarkasteltavan pinnan laskettujen valaistusvoimakkuuksien aritmeettista keskiarvoa. (Liikennevirasto 2015, 22)

#### 6.1.2 Pystytason valaistusvoimakkuus

Pystytason keskimääräinen valaistusvoimakkuus  $E_{vm}$  on valovirta pinta-alayksikköä kohden, ja sen yksikkö on luks (lx). Tämä tarkoittaa pystytasossa olevan tarkasteltavan pinnan laskettujen valaistusvoimakkuuksien aritmeettista keskiarvoa. (Liikennevirasto 2015, 23)

### 6.1.3 Valaistusvoimakkuuden yleistasaisuus

Valaistusvoimakkuuden yleistasaisuutta tarkastellaan Liikenneviraston ohjeessa kahdella eri laskentatavalla.  $U_o$  lasketaan koko alueen pienimmän ja keskimääräisen valaistusvoimakkuuden osamääränä  $\frac{E_{min}}{E_m}$ .  $U_d$  puolestaan lasketaan koko alueen pienimmän ja isoimman valaistusvoimakkuuden osamääränä  $\frac{E_{min}}{E_{max}}$ . (Liikennevirasto 2015, 23)

### 6.1.4 Häikäisy $R_{GL}$

Aluevalaistuksessa häikäisyvoimakkuuden kuvaamiseksi käytetään erityistä luokitusluku  $R_G$ . Tähän lukuun vaikuttavat valaisimien ja ympäristön tuottama harsoluminanssi. Häikäisyyn vaikuttavat valaisimen valonjako, niiden määrä sekä asennuskorkeus. Ohjeessa on rautatiealueilla asetettu vaatimus  $R_{GL}$ , joka on suurin sallittu häikäisyarvo. (Liikennevirasto 2015, 23)

### 6.1.5 Värintoistoindeksi $R_a$

Värintoistoindeksi  $R_a$  kuvaa sitä, kuinka hyvin ja oikein valonlähde toistaa värejä. Värintoistoindeksissä on kyse tavasta arvioida, kuinka hyvin kahdeksan eri testiväriä toistuvat tutkittavana olevassa valossa, ja sen maksimiarvo on 100. (Laaksovirta 2016)

## 6.2 Aluejaottelu

Rautatiealueiden valaistavat alueet ja kohteet jaotellaan neljään pääryhmään;

- matkustaja-alueet,
- ratapihojen seisonta- ja huoltoraiteet sekä vaihtotyö- ja kuormausalueet,
- junien huolto- ja järjestelyratapihat sekä
- rautatietunnelit.

Näille jokaiselle alueelle on omat valaistusvaatimukset sekä tarpeet valaistukselle. Ennen valaistussuunnittelun aloittamista suunnittelijan tulee selvittää alueen käyttötarkoitus

sekä siellä suoritettavat työtehtävät ja kalusto, jolla alueella pääsääntöisesti liikutaan. Jokaisen alueen vaadittu valaistustaso tulee säilyä asennuksen koko elinkaaren ajan, ja sen laskennassa tulee käyttää oikeanlaista alenemakerrointa. Alenemakertoimen määrittästä on selvitetty tämän raportin luvussa 6.4. (Liikennevirasto 2015, 132)

### 6.2.1 Matkustaja-alueet

Matkustaja-alueilla standardien SFS-EN 12464-2 ja SFS-EN 12464-1 mukaisilla valaistusteknisillä vaatimuksilla taataan matkustajien turvallisuus ja viihtyvyys, sekä huomioidaan vammaisten ja liikkumisesteisten henkilöiden esteetön kulku alueilla (Euroopan komission asetus 2014/1300/EU) (taulukko 2). (Liikennevirasto 2015, 134)

TAULUKKO 2. Matkustaja-alueiden valaistustekniset vaatimukset (Liikennevirasto, 2015, 134)

<b>Matkustaja-alueet</b>	<b><math>E_{hm}</math></b>	<b><math>U_o</math></b>	<b><math>U_d</math></b>	<b><math>R_{GL}</math></b>	<b><math>R_a</math></b>
<b><i>Avoimet asemalaiturit</i></b>					
Pienet asemat	10	0,25	0,13	50	20
Keskisuuret asemat	20	0,40	0,20	45	60
- vilkas toiminta	50	0,40	0,25	45	60
Suuret asemat	50	0,40	0,25	45	60
<b><i>Asemalaiturit, laiturikatos</i></b>					
Pienet asemat	20	0,40	0,25	50	60
Keskisuuret asemat	50	0,50	0,33	40	60
Suuret asemat	100	0,50	0,33	35	80
<b><i>Täysin suljetut laiturialueet</i></b>					
Pienet asemat	100	0,40	0,25		60
Suuret asemat	200	0,50	0,33		60
<b><i>Asematunnelit</i></b>					
Pienet asemat	50	0,50	0,33		60
Keskisuuret ja suuret asemat	100	0,50	0,33		60
<b><i>Avoimet portaat</i></b>					
Pienet asemat	30	0,40	0,20	45	20
Keskisuuret ja suuret asemat	50	0,50	0,20	45	60
<b><i>Katetut portaat</i></b>					
Pienet asemat	50	0,40	0,20	45	20
Keskisuuret ja suuret asemat	100	0,50	0,20	45	60
<b><i>Kulkureitit P-luokkien mukaisesti</i></b>					
Pienet asemat (P4)	5				20
Keskisuuret ja suuret asemat (P2)	10				20
Pysäköintialueet (P2)	10	0,40	0,20		20

Mikäli matkustaja-alueen kulkureitti yhtyy yleiseen kevyen liikenteen väylään, jonka valaistusvoimakkuus on määriteltä korkeammaksi, toimii korkeampi luokka mitoituksen perustana. (Liikennevirasto 2015, 134)

Lisäksi laiturilla seisovan junan pystypinnat tulee valaista vähintään yhden metrin korkeuteen laituritasosta, jotta junan ja laiturin reunan väliin jäävä tila on riittävän hyvin valaistunut. Pystytason keskimääräinen valaistusvoimakkuus  $E_{vm}$  tulee olla vähintään puolet laiturialueen vaakataso keskimääräisestä valaistusvoimakkuudesta  $E_{hm}$  (taulukko 2). (Liikennevirasto 2015, 135)

### **6.2.2 Ratapihojen seisonta- ja huoltoraiteet sekä vaihtotyö- ja kuormausalueet**

Ratapihoilla olevien seisonta- ja huoltoraiteiden sekä vaihtotyö- ja kuormausalueiden valaistus tulee täyttää taulukon 3 mukaiset vaatimukset. Mikäli tarkkaa työskentelyaluetta ei voida määrittää, valaistus tulee suunnitella korkeimman valaistustason vaatimusten mukaisesti koko alueelle. (Liikennevirasto 2015, 135)

TAULUKKO 3. Pienten ja keskisuurten ratapiha-alueiden valaistustekniset vaatimukset (Liikennevirasto, 2015, 135)

<b>Ratapiha-alueet</b>	<b>E<sub>hm</sub></b>	<b>E<sub>vm</sub></b>	<b>U<sub>o</sub></b>	<b>U<sub>d</sub></b>	<b>R<sub>GL</sub></b>	<b>R<sub>a</sub></b>
<b><i>Tavara-alueet</i></b>						
Trukkien, nosturien ja autojen liikennealue	20		0,50	0,33	45	20
Avokuormausraiteet	20		0,40	0,20	50	20
- vähäinen toiminta	10		0,25	0,13	50	
- vilkas toiminta	50		0,40	0,25	45	
Katetut kuormausraiteet	50		0,40	0,20	40	60
- vilkas toiminta	100		0,50	0,33	40	60
Konttinosuriraitteet	20	10	0,40	0,20	50	60
- vilkas toiminta	50	20	0,40	0,20	45	60
<b><i>Vaihtotyöratapiha</i></b>						
Vaihdealue	10		0,40	0,20	50	20
Ratapihan keskiosa	10		0,40	0,20	50	20
- jos työ on jatkuvaa	15		0,40	0,20	45	20
Vetoraide	10		0,50	0,33	50	20
<b><i>Vaunujen ja vetureiden huolto-, korjaus- ja säilytysalueet</i></b>						
Matkustajavaunujen puhdistusraiteet	10		0,40	0,20	50	20
Matkustajavaunujen huoltoraiteet	20		0,40	0,33	45	20
- vilkas toiminta	50		0,50	0,33	45	20
Matkustajavaunujen pesuraiteet	20	10	0,40	0,33	45	60
- vilkas toiminta	50	20	0,50	0,33	45	60
Vaunujen huoltoraiteet	20		0,40	0,20	40	20
Vaunujen korjausraiteet	50	50	0,50	0,33	40	20
Vaunujen säilytysraiteet	5		0,25	0,13	50	20
Veturien säilytysraiteet	10		0,40	0,20	50	20
<b><i>Pienet ratapihat ja yksittäiset raiteet</i></b>						
Vaihdealue	10		0,40	0,20	50	20
Ratapihan keskiosa	10		0,25	0,13	50	20
<b><i>Raiteet henkilöasemilla, varikoilla ja konepajoilla</i></b>						
- vähäinen toiminta	10		0,40	0,20	50	20
- vilkas toiminta	15		0,40	0,20	50	20

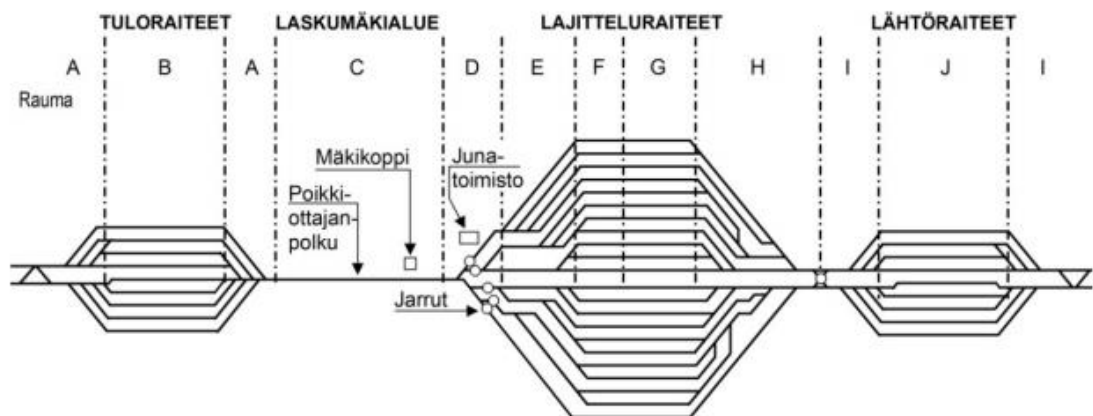
Taulukon 3 valaistusteknisillä vaatimuksilla mahdollistetaan tavara- ja raidekaluston käsittely sekä rata-alueen kunnossapitotoimenpiteet itse työskentelyalueella. Työskentelyalueen ympäristölle on asetettu myös omat standardin SFS-EN 12464-2 mukaiset vaatimuksensa valaistusvoimakkuudesta (taulukko 4).

TAULUKKO 4. Työskentelyalueen ympäristön valaistusteknilliset vaatimukset (Liikennevirasto 2015, 136)

Työskentelyalueen keskimääräinen valaistusvoimakkuus $E_{hm}$ (lx)	Työskentelyalueen ympäristön keskimääräinen valaistusvoimakkuus $E_{hm}$ (lx)
$\geq 500$	100
300	75
200	50
150	30
$50 \leq E_{hm} \leq 100$	20
$< 50$	sama kuin itse työskentelyalueella

### 6.2.3 Junien huolto- ja järjestelyratapihat

Junien huoltoratiapihat ovat yleensä suuria, yhtenäisiä varikkoalueita, joissa vaunujen ja vetureiden huoltotoimenpiteitä tehdään. Järjestelyratiapihoilla puolestaan kasataan ja säilytetään tavarajunia. Järjestelyratiapihoilla valaistusteknilliset vaatimukset luokitellaan toimenpidekohtaisesti eri työalueille (taulukko 5). Esimerkki työalueiden aluejaottelusta on esitetty kuvassa 3. (Liikennevirasto 2015, 133)



KUVA 3. Järjestelyratiapihan aluejako, esimerkkikuva (Liikennevirasto 2015, 136)



TAULUKKO 5. Järjestelyratapihojen valaistusteknilliset vaatimukset alueittain (Liikennevirasto, 2015, 137)

<b>Järjestelyratapihat</b>	<b>E<sub>hm</sub></b>	<b>E<sub>vm</sub></b>	<b>U<sub>o</sub></b>	<b>U<sub>d</sub></b>	<b>R<sub>GL</sub></b>	<b>R<sub>a</sub></b>
<b><i>Tuloraiteet</i></b>						
Vaihdealue (A)	10		0,40	0,20	50	20
Ratapihan keskiosa (B)	15		0,40	0,20	45	20
<b><i>Laskumäkialue</i></b>						
Poikkiottajan alue (C)	50	20	0,50	0,20	40	60
Mäen harja, vaununumeron lukualue (C)	20	50	0,50	0,20	40	80
<b><i>Lajitteluraiteet, käsin ohjattu</i></b>						
Hiljennys hiljennyskiskolla (D)	20		0,40	0,20	45	20
Vaihdealue, laskumäen pää (E)	15		0,40	0,20	45	20
Hiljennysalue jarrukengällä (F)	15		0,40	0,20	45	20
<b><i>Lajitteluraiteet, autom. ohjattu</i></b>						
Paikalliset raidejarrut (D)		50	0,50	0,33	40	20
Jatkuvat raidejarrut (D)	15		0,40	0,20	45	20
- vilkas toiminta	20		0,40	0,20	45	20
Vaihdealue, laskumäen pää (E)	15		0,40	0,20	45	20
- vilkas toiminta	20		0,40	0,20	45	20
Lajitteluraiteet, keskiosa (G)	15		0,40	0,20	45	20
Vaihdealue, lähtöpää (H)	10		0,40	0,20	50	20
<b><i>Lähtöraiteet</i></b>						
Vaihdealue (I)	10		0,40	0,20	50	20
Ratapihan keskiosa (J)	10		0,25	0,13	50	20

#### 6.2.4 Rautatietunnelit

Rautatietunneleissa normaalin valaistuksen valaistusteknilliset vaatimukset ovat esitetty taulukossa 6. Valaistusta on voitava ohjata sekä etänä että käsin, vähintään niin kutsuttujen hyökkäysteiden ja yhdyskäytävien kohdalta. Mikäli tunneleissa on matkustaja-alueita, on ne valaistava matkustaja-alueiden valaistusvaatimusten mukaan (taulukko 2). (Liikennevirasto 2015, 137)

TAULUKKO 6. Rautatietunnelien valaistustekniset vaatimukset (Liikennevirasto, 2015, 138)

<b>Rautatietunnelit</b>	<b>E<sub>hm</sub></b>	<b>U<sub>o</sub></b>	<b>U<sub>d</sub></b>	<b>R<sub>a</sub></b>
Rautatietunnelin poistumistie*	20	0,50	0,20	60
- hätäpoistumisportaitko	50	0,40		60
Ajo- ja huoltotunnelit	7,5	0,25		20
Pysty- ja huoltokuilut				
- portaitko	20	0,40		60
- muut tilat	10	0,30		60

Taulukossa esitetty vaatimus rautatietunnelin poistumistielle koskee tunneleita, joissa on matkustajaliikennettä (\*). Yli 500 metriä pitkiin rautatietunneliin on normaalin valaistuksen lisäksi suunniteltava myös turvavalaistus, jotta tunnelitiloissa voidaan joka tilanteessa liikkua turvallisesti. Valaistus toteutetaan tunneliosittain tunnelin toiminnallisen analyysin ja riskianalyysin vaatimusten mukaisesti. (Liikennevirasto 2015, 133)

### 6.3 Häiriövalo

Liikenneviraston tievalaistuksen haitallisten vaikutusten arvioinnissa käytetään kansainvälisen valaistuskomission CIE:n teknistä raporttia CIE 150:2003. Raja-arvot häiriövalolle ovat standardin SFS-EN 12464-2 mukaiset. Häiriövalon tarkastelussa erilaiset alueet jaotellaan ympäristön ja valoisuuden mukaan, taulukon 7 mukaisesti. Myös rautatiealueiden valaistusasennusten on täytettävä nämä häiriövalolle asetetut raja-arvot. (Liikennevirasto 2015, 35)

TAULUKKO 7. Aluejako häiriövalon tarkasteluun (Liikennevirasto 2015, 35)

<b>Alue</b>	<b>Ympäristö</b>	<b>Valoisuus</b>	<b>Esimerkkejä kohteista</b>
E1	Luonnontila	Pimeä	Kansallispuisto
E2	Maaseutu	Vähäinen aluevalaistus	Teollisuus- tai asuinalueet
E3	Esikaupunki	Kohtalainen aluevalaistus	Teollisuus- tai asuinalueet
E4	Kaupungin keskusta	Voimakas aluevalaistus	Keskustat tai kauppa-alueet

Valaistusasennuksesta ei saa syntyä häiriövaloa rautatiealueen ympäristöön. Häiriövalo tulee ottaa huomioon suunnitelmissa ja se tulee todentaa laskemalla ja/tai mittaamalla. Valonheittimien suunnittelu on suunnattava suuntauspiirustuksen, ohjeiden

sekä valaisinvalmistajan antamien käyttöohjeiden mukaisesti. Valonheittimen maksimi-valovirta saa suuntautua korkeintaan 75-asteen kulmaan. (Ratahallintokeskus 2009, 15)

Valaistusteknilliseen tarkasteluun käytetään seuraavia arvoja asennuksen yläpuoliselle valolle, valaistusvoimakkuudelle ikkunoissa sekä valaisimen valovoimalle kohteen suuntaan (taulukko 8). Taulukkoon on myös merkitty keskimääräiset luminanssiarvot eli ”pinnan kirkkausarvot” sekä julkisivuille että merkeille ja mainoksille.

TAULUKKO 8. Häiriövalon raja-arvot ulkovalaistukselle (Liikennevirasto 2015, 35)

Ympäristön alue	Asennuksen yläpuolinen valo	Valaistusvoimakkuus ikkunoissa		Valaisimen valovoima potentiaalisesti häiritsevään suuntaan		Luminanssi	
						Julkisivu	Merkki/mainos
	$R_{UL}$ %	$E_v$ $lx$		$I$ $kcd$		$L_b$ $cd/m^2$	$L_s$ $cd/m^2$
		Ilta	Yö	Ilta	Yö	Ilta	
E1	0	2	0	2,5	0	0	50
E2	5	5	1	7,5	0,5	5	400
E3	15	10	2	10	1,0	10	800
E4	25	25	5	25	2,5	25	1000

#### 6.4 Valaistustason alenemakerroin

Valaistustekniset vaatimukset tulee täyttyä koko asennuksen elinkaaren ajan, ja tämä huomioidaan valaistusteknillisissä laskennoissa alenemakertoimen avulla. Alenemakertoimessa otetaan huomioon asennukselle suunnitellut kunnossapitotoimenpiteet, ja se määräytyy valituista valaistuslaitteista sekä asennusympäristöstä. Erityisesti valaisimen likaantuminen tulee ottaa huomioon alenemakertoimen määrittelyssä. (Liikennevirasto 2015, 34)

Alenemakerroin ulkovalaistuksessa voidaan laskea kaavalla

$$MF = LMF \cdot LLMF \cdot LSF \quad (1)$$

jossa  $MF$  on itse alenemakerroin (maintenance factor),  $LMF$  on valaisimen ja optiikan alenemakerroin (luminaire maintenance factor),  $LLMF$  on valonlähteen valovirran alenema (lamp lumen maintenance factor), ja  $LSF$  on valonlähteiden kuolleisuus (lamp survival factor). (Oulun Energia 2015)

LMF-arvoon vaikuttavat valaisimen kotelointiluokka, ympäristön olosuhteet sekä valaisimen puhdistusväli. LLMF- ja LSF-arvoihin vaikuttavat puolestaan valonlähteen tyyppi, valonlähteen käyttölämpötila sekä käyttövirta ja valaisimen elinkaari (Oulun Energia 2015). Mikäli kaikkia alenemakertoimeen vaikuttavia tekijöitä ei suunnitteluvaiheessa tunneta, käytetään Liikenneviraston ohjeen mukaan seuraavan taulukon 9 alenemakertoimen arvoja.

TAULUKKO 9. Alenemakertoimet valonlähdetyypeittäin, kotelointiluokan ollessa vähintään IP65 (Liikennevirasto 2015, 34)

Valonlähde	Perusarvo	Liikenneympäristö	
		Puhdas	Likainen
Suurpainenatrium 100 - 400 W	0,80	0,85	0,75
Suurpainenatrium 50 - 70 W, 600 W	0,75	0,80	0,70
Monimetalli, keraaminen	0,65	0,70	0,60
Monimetalli, keraaminen 45 W, 60 W	0,70	0,75	0,65
Monimetalli, keraaminen 90 W, 140 W	0,75	0,80	0,70
Induktio	0,65	0,70	0,60
LED*	0,70	0,75	0,65
Loisteputki T8 / T5, pakkasputki	0,70	0,75	0,65

Taulukossa 9 on huomioitava, että LED-valaisimien tapauksessa arvo on määriteltä valovirran arvoille  $L_{80}B_{10}$ , lämpötilassa  $t_a = 25\text{ °C}$  (\*). Muita arvoja käytettäessä alenemakerroin täytyy määrittää niiden mukaan. (Liikennevirasto 2015, 34)

#### 6.4.1 LED-valaisimien alenemakerroin

LED-valaisimien alenemakertoimeen vaikuttaa suuresti valaisimen likaantuminen sen eliniän aikana. LLMF-arvo on LEDin valovirran alenemakerroin, joka saadaan valmistajan ilmoittamasta valovirran alenemäkäyrästä 50 000 tunnin polttotuntikohdasta. LSF-arvo on kuolleisuuskerroin, joka ilmoitetaan prosentteina. Normaali kuolleisuus 50 000 polttotunnin kohdalla on noin 10 %, jolloin kuolleisuuskertoimena käytetään arvoa 0,9. (Sirkiä 2013)

LMF-arvo on valaisimen likaantumiskerroin. Likaantumiskertoimeen vaikuttavat valaisimen kotelointiluokitus, valaisimen aiottu puhdistusväli sekä ympäristön saasteisuus. Jos valaisimen kotelointiluokka on IP 6X, ja puhdistusväli on 5 vuotta, kertoimet ovat 0,8

(runsas saasteisuus), 0,85 (normaali saasteisuus) ja 0,9 (vähäinen saasteisuus). (Sirkkiä 2013)

## 7 CASE-TILANNE MYLLYMÄEN SEISAKE

Osana tätä opinnäytetyötä oli tarkoitus tehdä valaistussuunnitelma Myllymäen asemalle Ähtäriin. Kyseinen rautatieliikennepaikka sijaitsee sähköistämättömällä Haapamäki-Seinäjäki-radalla noin 13 kilometriä Ähtärin keskustasta, jossa sijaitsee myös kaupungin vilkkaampi asema. Rautatieliikennepaikka on tyypiltään seisake, jolla on tällä hetkellä mahdollista harjoittaa sekä henkilö- että tavaraliikennettä, ja siellä on myös vaihtotyömahdollisuus (Liikennevirasto 2016).

Vuonna 2010 laaditussa Liikenneviraston henkilöliikennepaikkojen kehittämisohjelman väliraportissa mainitaan Myllymäellä olevan taajamaliikennettä, ja siellä matkusti vuonna 2008 arviolta noin 3000 matkustajaa. Tavoitelaituripituudeksi oli asetettu tuolloin 120 metriä. (Liikennevirasto 2010)

Vuonna 2015 Myllymäen seisakkeella matkoja per vuorokausi tehtiin keskimäärin 8 kappaletta (VR Group 2016). Alun perin vuonna 2015 oli tarkoitus, että 27.3.2016 alkaen välin Jyväskylä-Haapamäki-Seinäjäki kaukojunareitti lakkautetaan kokonaan, mutta myöhemmin 1.2.2016 Liikenne- ja viestintäministeriö tekemällään päätöksellä velvoitti VR:n harjoittamaan velvoiteliikennettä tällä välillä niin kauan, että junaliikenteen kilpailu myöhemmin avataan. Uusia toimijoita voidaan odottaa markkinoille aikaisintaan vuonna 2017. Tällä hetkellä Myllymäen aseman kautta kulkevat Seinäjoen ja Jyväskylän väliset kaukojunat H 481, H 482, H 485 ja H 486. (LVM 2016)

### 7.1 Vanha valaistus

Myllymäen henkilöseisakkeen vanha valaistus on toteutettu elohopeahöyrylampuilla (kuva 3). Laiturialueen valaistuspylväät ovat arviolta 1960-luvulta lähtöisin, ja niiden kunto on nykyään välttävä.



KUVA 3. Myllymäen seisakkeen elohopealamppuvalaistus (Visa Pöntinen)

Laiturialuetta valaistaan kahdellatoista 125 – 250 W elohopealamppuvalaisimella, jotka ovat sijoitettuna kuuteen 8 metrin korkuiseen 2-varsipylvääseen. Pylväsväli on noin 35 metriä. Pylväslinja on entisellä kahden raiteen välisellä välilaiturilla, josta aseman puoleinen raide on myöhemmin purettu, ja tasoitettu nykyiseksi laituriksi. Tästä johtuen pylväslinja on alle kaksi metriä nykyisestä laiturinreunasta, vaikka nykyinen laiturialue on noin kuusi metriä leveä. Toinen pylväslinja on sijainnut asemarakennuksen edessä, ja tästä linjasta on jäljellä neljä 8 metrin yksivartista pylvästä, joiden päässä on 125 W elohopealamppuvalaisimet (Kuva 4).



KUVA 4. Myllymäen nykyinen henkilölaituri sekä sen valaisinpylväitä

Kuvasta 4 nähdään myös sivuraiteen puunlastausalueen valaistus, joka on toteutettu suurpainenatriumvalaisimilla. Tämä valaistus ei kuitenkaan kuulunut tämän suunnittelutyön piiriin.

Vanhaa valaistusta syötetään noin 200 metrin päässä olevasta tasoristeyksen puolipuomilaitokselta (kuva 5). Valaistuksen syöttökaapelointi on toteutettu sekä maakaapelina että ilmajohtona. Sähköliittymän koko on 3 x 25 A. Vanha valaistuksenohjaus on toteutettu hämärä- ja kellokytkimellä, mutta näistä vain hämäräkytkin on nykyisin ollut käytössä. Samasta keskuksesta syötetään myös puunlastausalueen valaistusta.





KUVA 5. Vanhan valaistuksen syöttökeskus

## 7.2 Ratapihan luokittelu

Myllymäen liikennepaikka on tyypiltään seisake (Liikennevirasto 2016). Täten alueelle voidaan soveltaa valaistusteknillisiä vaatimuksia, jotka koskevat matkustaja-alueita. Pienien asemien avoimille asemalaitureille on seuraavia valaistusteknillisiä vaatimuksia (taulukko 10).

TAULUKKO 10. Valaistusteknilliset vaatimukset (Liikennevirasto 2015, 134)

Matkustaja-alueet Avoimet asemalaiturit	$E_{hm}$	$U_o$	$U_d$	$R_{GL}$	$R_a$
Pienet asemat	10	0,25	0,13	50	20

Lisäksi on huomioitava laiturilla seisovan junan pystypintojen valaistusvoimakkuus. Junan pystypinnat tulee valaista vähintään 1 m korkeuteen laiturin tasosta. Pystytason keskimääräisen valaistusvoimakkuuden  $E_{vm}$  täytyy olla vähintään puolet vaakatason keskimääräisestä valaistusvoimakkuudesta  $E_{hm}$ . Näin junan ja laiturin reunan väliin jäävä tila on tarpeeksi hyvin valaistu. Tässä tapauksessa pystytason keskimääräinen valaistusvoimakkuus täytyy olla siis vähintään 5 luksia. (Liikennevirasto 2015, 135)

Myllymäen asema sijaitsee Myllymäen kylässä, maaseutumaisella alueella. Alueella on vähäistä alueellista valaistusta, joten siellä voidaan soveltaa häiriövalolle alueen E2 vaatimuksia (taulukko 8).

### 7.3 Valaistusteknilliset laskennat

Tämän insinööritoimiston työsuuteen kuului Myllymäen valaistuksen suunnittelu nimenomaisesti LED-valaisimilla. Valaistussuunnitteluun käytettiin DIALux 4.12 -ohjelmaa. Kyseinen ohjelma (tai DIALux 4.13) on tällä hetkellä vielä hieman sopivampi ulkovalaistuksen suunnitteluun kuin uudempi DIALux evo (Nousiainen 2017). Suunnittelun lähtökohtana oli laatia valaistussuunnitelma niin, että uudelle laituripituudelle 120 metriä saataisiin standardissa SFS-EN 12464-2 sekä Liikenneviraston ohjeessa määritellyt ominaisuudet.

#### 7.3.1 Laskenta- ja mittauspisteverkko

Standardissa SFS-EN 12464-2 on esitetty valaistusteknillisissä laskennoissa käytettävä laskenta- ja mittauspisteverkko. Laskentapisteverkko määräytyy valaistavan alueen koon mukaan, ja laskentapisteen määrä lasketaan kaavan 2 mukaisesti. (Liikennevirasto 2015, 142)

$$p = \frac{d}{0,2 \cdot 5^{\log d}} \quad (2)$$

Kaavassa esiintyvä  $p$  on tarkastelualueen sivun laskentapisteen määrä, ja  $d$  on sivun pituus. Tässä tapauksessa laskenta-alueen pituudeksi määritellään uusi laituripituus 120

metriä, jolloin kaavaan 2 sijoittamalla saadaan mittauspisteiden määräksi  $p = 21$ . Laiturin leveyssuunnassa mittausalueen pituudeksi määriteltiin 5 metriä, joten ”leveyssuunnan” mittauspisteiden määräksi tulee kaavalla laskien 8. Näin muodostuu yhteinen laskentapisteverkko, jossa on yhteensä  $21 \times 8$  laskentapistettä (Liikennevirasto 2015, 142). Laskentapisteverkko voidaan tuottaa DIALux 4.12 -ohjelmassa laskentarasteri-toiminnolla, ja se tulee sijoittaa laituritason korkeudelle (Saari 2017).

### 7.3.2 Junan pystypinnat

Junan pystypintojen valaistusvoimakkuus varmistettiin 120 metriä pitkällä ja 1 metrin korkuisella laskentapinnalla, joka sijoitettiin pystysuoraan laiturin reunalle paikkaan, johon junan oletetaan tulevan. Kyseiseltä laskentapinnalta mitattiin pystytason keskimääräistä valaistusvoimakkuutta  $E_{vm}$ , joka tuli olla vähintään 5 luksia.

### 7.3.3 Suurin häikäisyarvo

$R_{GL}$ -häikäisyarvot lasketaan pylväslinjassa oleville havaitsijoille niin, että niitä sijoitetaan mahdollisen kulkureitin keskilinjalle. Tässä tapauksessa kulkureitin oletetaan kulkevan laiturialueen keskellä. Havaitsijat sijoitetaan 1,5 metrin korkeudelle laituritasosta, ja niiden katsesuunta asetetaan katsovan 2 astetta vaakatasosta alaspäin. Häikäisyarvot lasketaan jokaiselle havaitsijalle koko akselinsa ympäri, 15 asteen välein. Suurinta häikäisyarvoa pidetään mitoittavana. (Liikennevirasto 2015, 143)

DIALux 4.12 -ohjelmalla mallintaessa pienien asemien häikäisyarvoraja  $R_{GL} = 50$  osoittautui haasteelliseksi kapealle laiturille, jossa katsojat sijaitsevat suhteellisen lähellä valaisinpylväitä. Ratkaisuksi tähän määräytyi lopulta valaisinpylvään korkeus ja pylväsväli, jossa korkeampi pylväs takasi aina pienemmän häikäisyarvon. Esimerkiksi suunnittelu 6 metrin pituisilla valaisinpylväillä toi lähes aina liian korkeita  $R_{GL}$ -arvoja. Rautatiealueilla käytetty yleisin laituripylväskorkeus on 8 metriä, ja tämä pituus onkin varsin hyvä ehkäisemään liian korkeat maksimihäikäisyarvot. Valaisimen optiikan oikeanlaisella valinnalla on myös suuri merkitys häikäisyarvoihin.

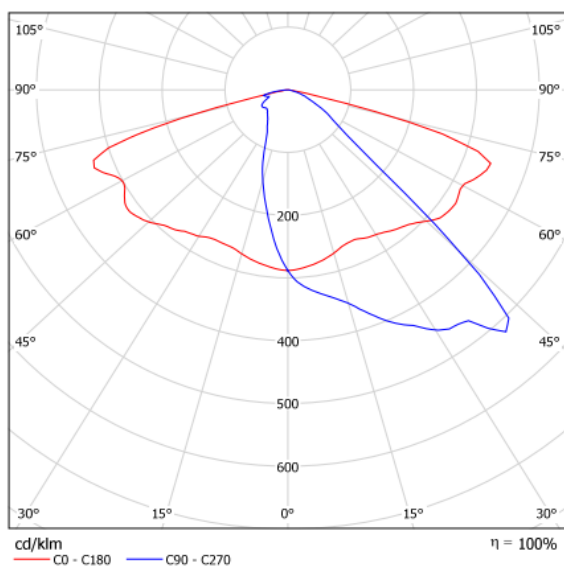
### 7.3.4 Valitut valaisimet

Uusiksi laiturivalaisimiksi valikoitui lopulta Greenled Oy:n Sirius 67M katuvalaisimet. Kyseinen valaisinmalli on Liikenneviraston hyväksymä tievalaisin (Liikennevirasto 2016). Valaisimia tulee yhteensä 4 kappaletta 120 metrin matkalle, pylväsvälillä 30 metriä. Pylväskorkeus on 8 metriä. Seuraavassa taulukossa 11 on lueteltuna valitun valaisinmallin ominaisuuksia.

TAULUKKO 11. Greenled Sirius 67M -valaisimen ominaisuudet (Greenled 2016)

Sirius 67M	
Tuoteperheen koodi	GLS67M3
Teho	65 W
Valovirta	7700 lm
Valotehokkuus	118 lm / W
Värilämpötila	3000 K, 4000 K
Ra	vähintään 70
PF	> 0.95
IP-luokka	IP67
Elinikä L90B10, C10	150 000 h

Valaisimen valaisinoptiikaksi valittiin varsin laaja, eteenpäin valoa jakava optiikka, Greenledin optiikka ”01” (kuva 6). Kyseisellä optiikalla häikäisyarvoissa päästiin alle maksimitason. Valaisinten asennuskulmaksi DIALux 4.12 -ohjelmassa asetettiin 5 astetta vaakatasosta ylöspäin. Tämä kulma on varsin tyypillinen asennuskulma katuvalaistuksessa (Saari 2017).



KUVA 6. Greenled Sirius M -valaisimen valonjakauma ”01” (Greenled 2016)

### 7.3.5 Valaistusteknillisten vaatimusten täyttyminen

Valaistusteknillisiä vaatimuksia asennukselle tarkasteltiin DIALux 4.12 -ohjelmalla, jonka avulla koko valaistus suunniteltiin. Valaistusteknillisissä laskennoissa yleiskäyttöisenä alenemakertoimena käytettiin arvoa 0,70. Seuraavassa on verrattu saatuja laskentatuloksia standardin määrittelemiін arvoihin (taulukko 12).

TAULUKKO 12. Valaistusteknilliset vaatimukset ja niiden täyttyminen

	$E_{hm}$ rasteri lx	$U_o$ $E_{min} / E_m$	$U_d$ $E_{min} / E_{max}$	$R_{GL}$	Junan pystypinnat $E_{vm}$ lx
Standardi	10	0,25 (min)	0,13 (min)	50 (max)	5
Sirius 67M	13	0,33	0,16	50	7

Taulukosta 12 nähdään, että valaistusteknilliset vaatimukset täyttyvät niin laskettavan alueen keskimääräisen valaistusvoimakkuuden  $E_m$  osalta kuin valaistusvoimakkuuden yleistasaisuuksien  $U_o$  ja  $U_d$  osalta. Havaitisijoiden suurin  $R_G$ -häikäisyarvo on saman suuruinen kuin vaatimusten sallima suurin arvo. Junan pystypintojen valaistusvoimakkuus  $E_{vm}$  täyttää myös vaaditun vaatimuksen, joka on puolet laskettavan rasterialueen keskimääräisestä valaistusvoimakkuudesta.

Lisäksi suunnitelmasta tarkasteltiin häiriövalolle asetettuja raja-arvoja (taulukko 13). Valaisimet eivät tuottaneet yhtään asennuksen yläpuolista valoa ( $R_{UL}$ ) DIALux-mallinnuksessa. Ikkunoiden valaistusvoimakkuus  $E_v$  pysyi yölle asetetussa raja-arvossa 1 lx, ja valaisimien valovoima asema- ja varastorakennuksen suuntaan  $I$  oli alle 0,2 kcd. Julkisivun keskimääräistä luminanssia  $L_b$  tai merkki- ja mainoskylttien keskimääräistä luminanssia  $L_s$  ei DIALux 4.12 -ohjelmalla laskettu ollenkaan.

TAULUKKO 13. Häiriövalon raja-arvot ulkovalaistusasennuksille alueella E2 sekä niiden täyttyminen

	Asennuksen Yläpuolinen valo valo	Valaistus- voimakkuus ikkunoissa	Valaisimen valovoima potentiaalisesti häiritsevään suuntaan	Luminanssi	
				Julkisivu	Merkki/mainos
Ympäristön alue	$R_{UL}$ %	$E_v$ lx	$I$ kcd	$L_b$ cd/m <sup>2</sup>	$L_s$ cd/m <sup>2</sup>
E2	5	1 (yö)	0,5 (yö)	5 (ilta)	400 (ilta)
Sirius 67M	0	1	0,2	-	-

### 7.3.6 Uuden valaistuksen visuaalinen tarkastelu

DIALux-mallintaminen tarjoaa myös mahdollisuuden valaistuksen visuaaliselle mallinnukselle. Visuaalisesti ympäristö voidaan mallintaa tarkastikin, mutta tämä raskauttaa itse valaistuslaskentaa ja vaatii tietokoneelta enemmän laskentatehoa. Visuaaliseen suunnitteluun uudempi DIALux evo on tarkempi kuin DIALux 4.12, ja tällä saadaankin ”kauniimpia” kuvia valaistussuunnitelmista. Ohessa on DIALux evolla mallinnettu Myllymäen uusi LED-valaistus (kuva 7). Valaistustilanne on kuvattu LED-valaisimien valaistessa 100 % teholla.



KUVA 7. Myllymäen uusi valaistus mallinnettuna DIALux evo -ohjelmalla

### 7.3.7 Energiatehokkuuden arvioiminen

Valaistusasennusten tulee aina täyttää kaikki valaistusteknilliset vaatimukset, ja vasta tämän jälkeen on mahdollista tehdä lopullinen valinta mahdollisten ratkaisuiden välillä energiatehokkuuden pohjalta. Liikenneviraston ohjeessa on kaava valaistuksen energiatehokkuuden arvioimiseen. Valaistusasennukselle lasketaan hyötysuhde  $\eta$  kaavalla

$$\eta = \frac{E_m \cdot A}{\Theta} \quad (3)$$

jossa  $E_m$  on vaadittava keskimääräinen valaistusvoimakkuus,  $A$  on valaistavan alueen pinta-ala, ja  $\Theta$  on asennuksen valonlähteiden yhteenlaskettu valovirta. Taulukossa 14 on esitetty valaistusasennuksen hyötysuhteelle asetettavat tavoitearvot. (Liikennevirasto 2015, 139)

TAULUKKO 14. Valaistusasennuksen hyötysuhteen tavoitearvot (Liikennevirasto 2015, 139)

Taso	Asennuksen hyötysuhde $\eta$	Tason kuvaus
Taso I	0,25 ... 0,35	minimitaso
Taso II	0,36 ... 0,45	tavoitetaso
Taso III	0,46 ... 0,55	hyvä
Taso IV	> 0,56	erinomainen

Myllymäen tapauksessa saatiin kaavaan 3 sijoittamalla kuitenkin seuraavia tuloksia (kaava 4). Tuloksista havaitaan, että asennuksen hyötysuhde  $\eta$  ei täytä Liikenneviraston ohjeen minimitasoa.

$$\eta = \frac{10 \text{ lx} \cdot 600 \text{ m}^2}{4 \cdot 7700 \text{ lm}} = 0,23 \quad (4)$$

Tämä johtuu valaisimien suuresta lumenmäärästä suhteessa pienellä ja kapealla alueella. Hyötysuhdemenetelmä on tässä tapauksessa kuitenkin hieman epäkelpo tarkastelutapa, sillä se on suunniteltu lähinnä isompien rautatiealueiden valaistuksen hyötysuhteiden vertailuun. Lähtökohtana on, että valaistus täyttää standardin asettamat valaistusvaatimukset, ja tämä asia on määräävä. (Saari 2017)

Jos hyötysuhdetta haluttaisiin alentaa, tulisi valaistus kohdentaa kapealle alueelle paremmin kapeamman valonjaon optiikoilla. Nyt valitulla leveällä valonjaolla valaistus jakaantuu paljolti myös muualle kuin tarkasteltavalle alueelle. Kapean laiturin valaistuksen tapauksessa valoa ei voida kuitenkaan kohdentaa ”kapeilla” optiikoilla, sillä silloin standardin määritykset häikäisyarvolle ylittyvät järjestään. Ratkaisuna tähän päätetään, että standardi on mitoittava. Lisäksi leveää valonjakoa voidaan perustella myös vaikkapa turvallisuuden tunteen paranemisena, kun enemmän aluetta on valaistuna. Myös raiteiden alue on nyt valaistu, vaikka tämä alue ei itsessään laiturin valaistusvaatimukseen kuulunutkaan. Lisäksi Myllymäen kokoisessa kohteessa valaisintehot ovat hyvin pientä luokkaa,

ja pylväitä on vähän. Näin ollen on perusteltua sanoa, että kyseessä ei ole suuri valaistuksen ylimitoitus, vaan ratkaisu, jolla häikäisyarvot pidetään standardin määrittelemänä.

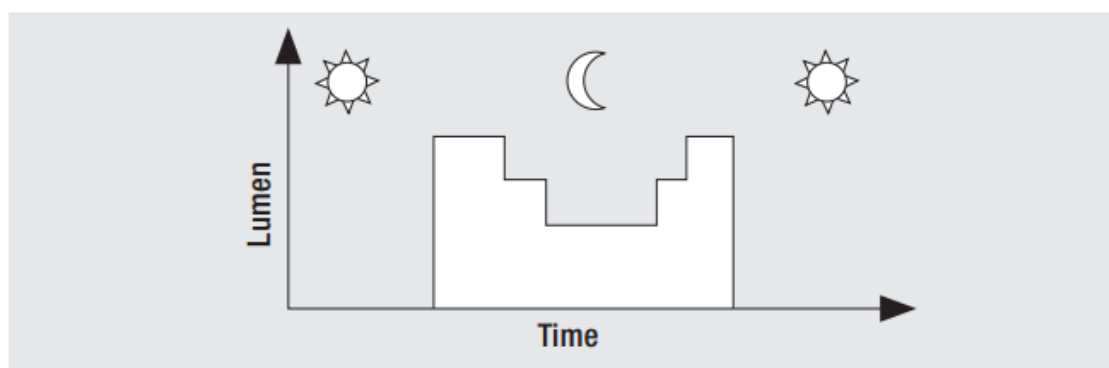
## 7.4 Uuden valaistuksen ohjausvaihtoehdot

Greenledin valaisimet tarjoavat hyvät mahdollisuudet valaistuksen tarpeenmukaiseen ohjaukseen sekä älykkäälle valaistusverkolle. Valaisimien ohjausvaihtoehdoiksi on lueteltu ON/OFF, StepDIM, AstroDIM, DALI, MainsDIM sekä optiona OSRAMin SLC. Aluevalaistukseen näistä soveltuvat erityisesti AstroDIM joko liiketunnistimen kanssa tai ilman, tai DALI-protokollaa tukevat valaistuksen ohjausjärjestelmät. (Greenled 2016)

### 7.4.1 AstroDIM

Greenledin Siriuksessa käytössä oleva OSRAM 3DIM on ulkovalaistuksen LED-moduuleille sekä suurpaineipurkauslampuille soveltuva liitäntälaitetyyppi, jossa on kolme eri ohjaus- ja himmennysversiota. Tätä liitäntälaitetta voidaan käyttää kolmessa eri tilassa: DALI-, StepDIM tai AstroDIM. (OSRAM 2017)

AstroDIM on ominaisuus, jolla on mahdollista toteuttaa aluevalaistuksen itsenäinen ohjaus. Toiminnolla on mahdollista toteuttaa yöhimmennys, jossa himmennetään valaistusta porrastetusti yön hiljaisimpien tuntien ajaksi. Valaisimeen ohjelmoidussa AstroDIM-ohjauksessa voidaan ennalta määritellä kolme himmennystasoa, joiden ajankohdat voidaan valita kohteen tarpeiden mukaisesti (kuva 8). (Greenled 2016)



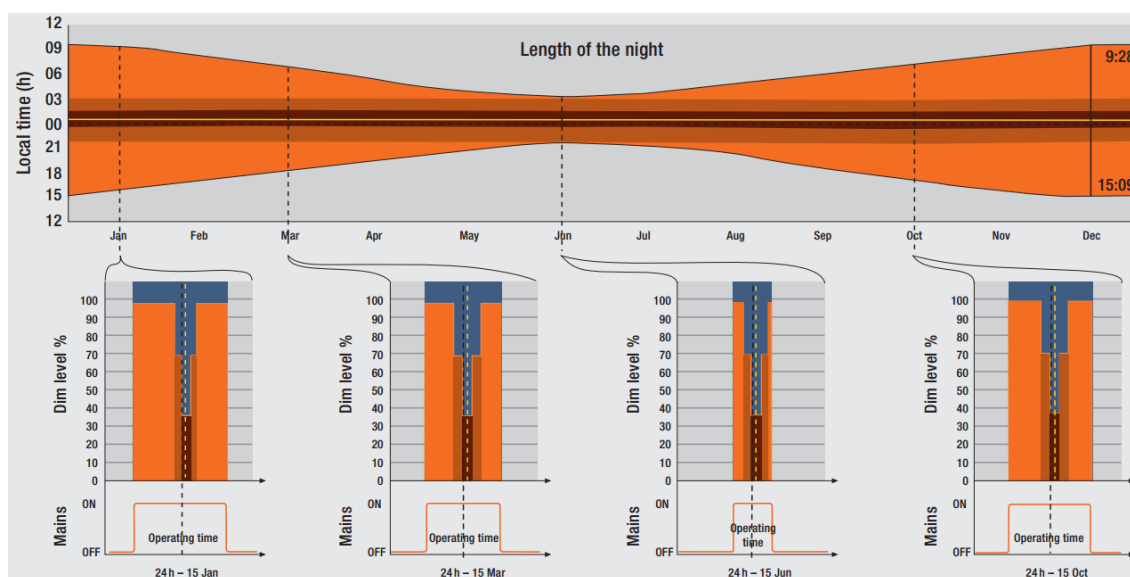
KUVA 8. AstroDIMin toimintaperiaate kahdella portaalla, valovirta ajan suhteen (OSRAM 2017)



AstroDIM-tilassa kaksiportainen öinen tehonalennus aikaansaadaan laitteen sisäisellä kellolla, eikä ulkoista ohjausverkostoa (ohjausjohtimia) tarvita. Elektroninen liitäntälaite tarkkailee automaattisesti katuvalaistuksen päivittäisiä päälle- ja poiskytkentäaikoja, sekä niiden tehoa tiettyinä aikoina. (OSRAM 2017)

Kun AstroDIM-toiminto on valittu, valaisimen elektroninen liitäntälaite (ECG) aloittaa ja lopettaa himmennuksen täysin itsenäisesti. Valaisinta ohjataan vain sen syöttöjännitteen katkomisella, esimerkiksi hämähäkytkimellä, eikä erillisiä ohjauskaapelointeja tarvita. Liitäntälaitteen asetuksia ei tarvitse määritellä erikseen, vaan se aloittaa itsenäisesti toimintansa oletusparametreillaan, kun syöttö on asetettu päälle. AstroDIMin parametreja, kuten himmennystasoja ja himmennysaikoja, voidaan muuttaa erillisellä 3DIM Tool-ohjelmalla tietokoneen kautta. Tietokone tulee kytkeä tällöin valaisimen DALI-liitimiin. (OSRAM 2017)

AstroDIM himmennysprofiileja voidaan määritellä yhdelle tai kahdelle himmennystasolle. Liitäntälaitteen integroitu ”ajastin” laskee liitäntälaitteen toiminta-aikaa valaistuksen päälle- ja poiskytkentöjen välillä. Edellisten öiden tilastojen perusteella AstroDIMin algoritmi laskee seuraavan yön toiminta-ajan. Kuvassa 9 on esitetty neljä esimerkkiä himmennysprofiileista, näyttäen kuinka algoritmi mukauttaa himmennystä yön pituuden mukaan, keskittäen himmennysprofiilin toiminta-ajan keskelle. (OSRAM 2017)



KUVA 9. Neljä esimerkkiä OSRAM AstroDIM -himmennysprofiileista (OSRAM 2017)

AstroDIM-ohjaukseen voidaan lisätä myös valaisinkohtainen liiketunnistin, jonka avulla valotehoa voidaan nostaa ihmisten liikkeen perusteella. Näin valaisimen jatkuva valoteho voidaan asettaa minimitasolle, ja nostaa valotehoa tarvittaville alueille, kun siellä on liikettä. (Greenled 2017)

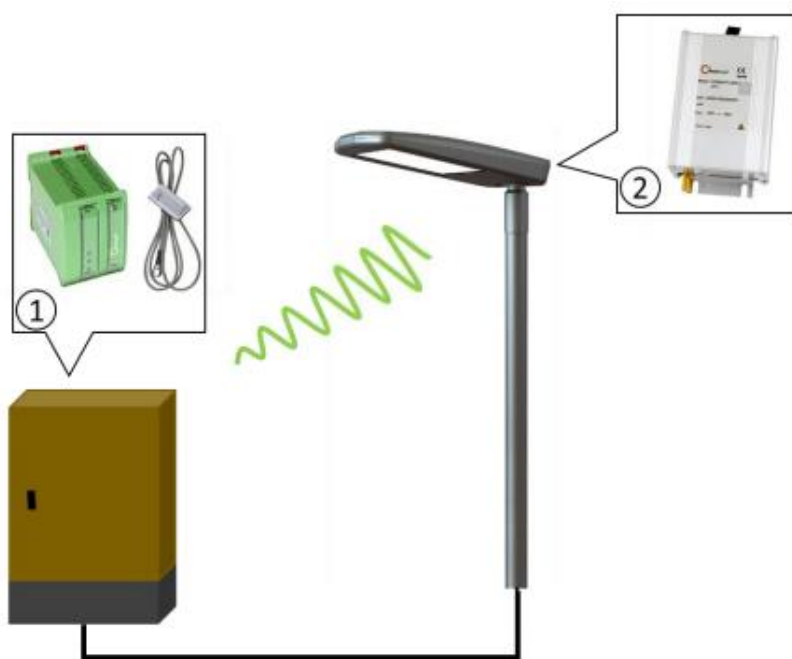
#### **7.4.2 Vakiovalovirta-ohjaus**

Valaisimia tilatessa valmistajalta voidaan pyytää, että elektroniseen liitäntälaitteeseen ohjelmoidaan myös vakiovalovirtasäätö. Tällä voidaan kompensoida valaisinlaskennassa käytetyn alenemakertoimen tuottamaa valaistuksen ylimitoitusta sen elinkaaren alussa. Tässä tapauksessa, kun alenemakertoimenä valaistusteknisissä laskennoissa on käytetty arvoa 0,70, ohjelmoidaan liitäntälaitte niin, että se tuottamaan 30 % vähemmän valoa valaisimen ollessa uusi (Hellman 2017). Järjestelmä osaa itse lisätä valotehoa ajan mittaan, jotta valaistusvoimakkuusvaatimus täyttyy koko valaisimen elinkaaren ajan. Laskelmissa käytetty alenemakerroin määrittää siis CLO:n toiminnan. Vakiovalovirtaohjauksen etuna myös on, että valaisimen elinikä kasvaa, kun sitä ei käytetä teoreettisesti täydellä teholla kuin vasta elinkaarensa loppupäässä.

#### **7.4.3 C2 SmartLight ohjausjärjestelmät, itsenäinen valaistusverkko tai keskusjärjestelmä**

C2 SmartLight tarjoaa karkeasti kahdenlaista tyyppiä valaistuksen ohjaukselle. Ohjaus voidaan toteuttaa valaisinkeskuskohtaisesti keskusyksiköllä, joka on hallittavissa ja ohjelmoitavissa langattomasti internetselaimen kautta. Toinen mahdollinen tapa toteuttaa ohjaus on valaisinkohtaisesti erillisten langattomien C2 Lumo -ohjainlaitteiden avulla, jotka toimivat radioteitse 2,4 GHz taajuudella.

Näitä kahta ohjaustyyppiä on mahdollista myös yhdistää samaan ohjausjärjestelmään erillisellä C2 LuonC -ohjainkeskittimellä. Keskitin mahdollistaa ohjaus- ja monitorointitietojen välittämisen katuvalokeskuksen, C2 Lumo -ohjaimien sekä keskusjärjestelmän välillä langattomasti radiotaajuudella (kuva 10). (Ääri 2017)



KUVA 10. C2 SmartLight ohjausjärjestelmä, jossa keskusyksikkö (1) ja C2 Lumo -ohjain (2) (Greenled 2017)

C2 Lumo -ohjain ohjaa himmennettäviä LED-valaisimia DALI ja 1 – 10 V DC ohjauslähtöjen avulla. Ohjaus voi tapahtua ohjelmoidun aikataulun mukaisesti, sisäisen astronomisen kellon ohjauksella tai ohjaimeen liitettyjen antureiden havaintojen perusteella. Anturitietoja voi olla esimerkiksi valoanturi-, liiketunnistus- tai painonappiohjaus (Ääri 2017). Sirius M -valaisimet soveltuvat C2 SmartLightin järjestelmään, ja DALI-käskyn antava C2 Lumo -ohjain onkin valaisimen kanssa yhteensopiva.

## 7.5 Ohjauksen kannattavuus kohteessa

Vaikka kohde onkin matkustajamääriltään hyvin hiljainen, on siinä silti reilusti säästöpotentiaalia. Valaistuksen vaihtamisella elohopeahöyryvalaisimista LEDeihin päästään jo reiluun kuudennekseen sähkönkulutuksessa. Valaistuksen oikeanlaisella, tarpeenmukaisella ohjauksella on lisäksi suuri lisäsäästöjä tuova vaikutus, ja mitä hiljaisempi kohde on käyttäjämääriltään, sitä suurempi säästö saadaan turhaa valaistusta välttämällä.

Tämän kyseisen kohteen ongelmana ohjausjärjestelmien hankinnassa on niiden varsin suuri hankintahinta verrattuna käytettävään sähköenergian määrään. Kohteeseen on suunniteltu vain neljä 65 W kuluttavia valaisimia, joten prosentuaalinen säästö mahdollisella

ohjauksella jää tässä tapauksessa varsin pieneksi. Tähän kohteeseen ei siis kovinkaan kal-  
liita valaistuksen ohjausjärjestelmiä kannata sijoittaa. Järjestelmän hankinta on kuitenkin  
perusteltua, mikäli energian säästöön halutaan tähdätä hankintahinnan kustannuksella.

Kohteen valaisimiin on silti suositeltava asentaa ainakin CLO-ohjaus. Näin vältetään ale-  
nemakertoimen 0,7 aiheuttama 30 prosentin ylimitoitus valaisimien elinkaaren alussa, ja  
pidennetään niiden käyttöikää. Lisäksi esimerkiksi AstroDIM voisi olla kustannustehokas  
vaihtoehto, sillä se on mahdollista saada valaisinvalmistajalta suoraan.

### **7.5.1 C2 Lumo -ohjaus kahdella liiketunnistimella**

Yksi toteutukseltaan järkevä ohjaustapa kohteeseen olisi valaisimien kirkastus junan ja  
mahdollisten ihmisten liikkeestä. C2 SmartLight Oy tarjoaa valaisinkohtaiset C2 Lumo -  
ohjaimet noin 70 eurolla per kappale. Tämän lisäksi ohjaus tarvitsisi Lumo-liitännäisen  
liiketunnistimen, jonka hinta on noin 140 euroa kappaleelta. Valaisimet voitaisiin laittaa  
hämärän aikaan hämäräkytkimellä päälle, esimerkiksi 10 prosentin teholla. Aina kun lii-  
kettä havaitaan, nousisi valaisimien valoteho 100 prosenttiin tietyksi ajaksi. Yhteiskus-  
tannukset tähän olisivat siis noin 420 euroa, joten sähköenergian nykyisellä hinnalla (ar-  
vioidaan noin 0,10 € / kWh) ja valojen nimellisteholla (67 W) säästöt olisivat varsin mer-  
kityksellisiä rahallisesti.

### **7.5.2 Keskitetty ohjaus, säästöt valaisinhuollossa**

Yksi merkilläpantava ehdotus on, että sähköenergian säästöjen sijasta valaisimien moni-  
torointitietoja pystyttäisiin lukemaan etänä älykkään valaistuksenohjausjärjestelmän  
avulla. Tällä voitaisiin säästää valaistuksen tarkastus- ja huoltokäynneistä johtuvia kuluja,  
kun paikan päälle monen sadan kilometrin päähän ei tarvitsisi ajaa tietyin väliajoin, vaan  
valaisimen tilannetieto saataisiin suoraan internetistä. Tämän tyyppinen seurantamene-  
telmä voisi maksaa itsensä takaisin, vaikka sähköenergian säästöt olisivatkin pienet, ku-  
ten tämän kohteen tapauksessa. Varsinkin, jos kohteita olisi useampia, ja tätä sovellettai-  
siin monissa samankaltaisissa hiljaisen liikenteen rautatieliikennepaikoissa. Järjestelmien  
korkeat hankintahinnat tulevat kuitenkin tässä vastaan, ja tarkempaa laskentaa siihen, pal-  
jonko huoltoihin menee esimerkiksi vuositasolla, tarvittaisiin.

## 8 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tuoda esille LED-valaisimien hyviä ominaisuuksia verrattuna purkauslamppuvalaisimien ominaisuuksiin, erityisesti valaistuksen ohjauksen ja säädön kannalta. Tarkoituksena on pohtia LED-tekniikan tuomia mahdollisuuksia ja vaihtoehtoja älykkääseen valaistuksen ohjaukseen juuri rautatieliikenneympäristössä. Työssä selvitetään myös rautatiealueiden nykyistä valaistusta, sen ohjausta ja sitä, mitä vaatimukset siitä sanovat. Työssä tuodaan esille Liikenneviraston suunnitteluohjeessa sekä ulkovalaistusstandardissa SFS-EN 12464-2 esiintyvät valaistusteknilliset vaatimukset, jotka on otettava huomioon suunniteltaessa uutta valaistusta rautatiealueille. Työssä suunnitellaan LED-valaistus pienelle henkilöratapihalle, jonka mahdollista älykästä ohjausta lähdetään pohtimaan.

Erityisesti elohopealamppuvalaisimista on perusteltua siirtyä LED-valaisimiin saneerausten yhteydessä. LED-valaisimet ovat hyvä vaihtoehto rautatiealueille puhuttaessa alle tuhannen kilowatin kokoisista valaisimista. Oikeanlaisella valaistussuunnittelulla on mahdollista pudottaa sähköenergiankulutusta jopa 60 – 70 prosenttia, ja kun tähän lisätään vielä älykkäillä ohjaustavoilla tuotettu säästö, voidaan valaistuksen energiankulutusta pienentää jopa 80 % alkuperäisestä.

Uusittaessa vanhaa valaistusta koko valaistus kannattaa usein uusida. Vanhoihin elohopeahöyry- tai suurpainenatriumvalaisimiin ei kannata lähteä vaihtamaan vain lamppua ja liitäntälaitetta. Vanhojen valaisimien rakenne heijastin- ja lämmönhallintaominaisuuksiltaan ei ole suunniteltu uusille lampputypeille, joten valaistusteknilliset vaatimukset eivät näin täyty. Pyrittäessä vaatimusten täyttymiseen valaistusteknilliset suunnitelmat ja laskelmat ovat aina tehtävä kohdekohtaisesti esimerkiksi DIALux -ohjelmien avulla.

Henkilöratapihoilla on mahdollista tuottaa lisäsäästöjä sähkönkulutuksessa valaistuksen tarpeenmukaisella ohjauksella. LED-valaistuksen himmennysominaisuudet sekä nopea vasteaika mahdollistavat huomattavasti laajemmat mahdollisuudet eri ohjaustavoille kuin vanhat purkauslamppuvalaisimet. Ohjaus voidaan toteuttaa esimerkiksi ihmisten tai junan liikkeen perusteella, mutta myös porrastettu prosentuaalinen valotehonalennus öisin on hyvä vaihtoehto rautatiealueille. Vakiovalovirtaohjauksella minimoidaan valaisimien alenemakertoimesta aiheutuva valaistuksen elinkaaren alun ylimitoitus.

Tulevaisuudessa rata-alueiden valaistuksenohjausta voitaisiin toteuttaa esimerkiksi junan GPS-tietoon perustuvalla järjestelmällä. LED-valaistusta voitaisiin näin säätää liiketun-  
nistuksen sekä aikaohjelman lisäksi myös junan kulkutiedosta.

Älykkäät valaistuksenohjausverkot tekevät tuloaan katuvalaistuksessa, ja tätä voidaan hyödyntää tulevaisuudessa myös rautatiealueilla. Valaistuksen ohjaus voidaan toteuttaa joko keskitetysti tai itsenäisen valaistusverkon avulla. Järjestelmä voi toimia myös langattomasti. Keskitetyllä järjestelmällä, jota on mahdollista monitoroida, mitata ja ohjata etänä internetin välityksellä on suuri säästöpotentiaali valaistuksen tarkastus- ja huoltokustannuksissa, vähentäen tarvittavia huoltokäyntejä etäällä olevien kohteiden tapauksessa. Järjestelmien tämänhetkinen ongelma on niiden suuri hankintahinta, mutta suurempina kokonaisuuksina ja tarkemmalla laskennalla voidaan selvittää, ovatko huoltokustannuksista tulevat säästöt kannattavia.

Tämän työn suunnittelukohteessa, Myllymäen pienellä henkilöratapihalla ohjauksen tuomat säästöt jäävät pieniksi, johtuen vähäisistä valaisinmääristä. Ohjausjärjestelmien hankintahinnat nousevat tässä tapauksessa liian korkeiksi, sillä valmiiksi jo pientä sähköenergian kulutusta on turhaa lähteä pienentämään. Yleisesti ottaen kuitenkin pienissä, vähäliikenteisissä kohteissa on suuri säästöpotentiaali, sillä siellä valaistusta tarvitaan harvoin.

Tulevaisuudessa rautatiealueiden valaistuksen uuden, älykkään ohjauksen tuomia etuja voitaisiin punnita taloudellisesti vielä tarkemmin. Nykyisten järjestelmien hankinta- ja huoltokustannuksia voitaisiin ottaa ylös ja verrata niitä sähköenergiankulutuksessa saattaviin säästöihin eri tyyppisissä ja kokoisissa kohteissa. Näin saataisiin laskettua järjestelmien mahdolliset takaisinmaksuajat. Myös valaistuksen huoltokustannusten pienene-  
mistä etäohjattujen ja etävalvottujen järjestelmien avulla voitaisiin lähteä tutkimaan. Lisäksi kehityksen alle voitaisiin ottaa tekniikka, jossa valaistuksen ohjausjärjestelmä oikeasti hyödyntäisi nyt jo olemassa olevaa GPS-tietoa junien tarkoista sijainneista.

## LÄHTEET

Cheung, M. 2015. What's the difference between L80B10 and L70B50? LinkedIn. Luettu 5.4.2017.

<https://www.linkedin.com/pulse/whats-meaning-l80b10-jason-cheung>

Elektroniikkalehti. 2014. Uusi induktiolamppu haastaa ledilamput. Luettu 5.4.2017.

[http://etn.fi/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1329:uusi-induktiolamppu-haastaa-ledilamput&catid=13:news&Itemid=119](http://etn.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=1329:uusi-induktiolamppu-haastaa-ledilamput&catid=13:news&Itemid=119)

Fagerhult. 2017. Led-valaisimien elinikä. Luettu 5.4.2017.

<http://www.fagerhult.com/fi/Valaistustietoutta/LED/Led-valaisimien-elinika/>

Fagerhult. 2017. CLO-vakiovalojärjestelmä (Constant Light Output). Luettu 12.4.2017.

<https://www.fagerhult.com/fi/Valaistustietoutta/lighting-control/clovakiovalojarjestelma-constant-light-output/>

Fagerhult. 2017. DALI – standardisoitu digitaalinen valonohjausprotokolla. Luettu 13.4.2017.

<https://www.fagerhult.com/fi/valonohjaus/e-sense/e-Sense-Customised/dali/>

Glamox Luxo Lighting. 2013. Kymmenen asiaa, jotka sinun tulee tietää ledeistä. Luettu 5.4.2017.

[https://glamox.com/upload/2013/09/26/fi\\_singlepages-2.pdf](https://glamox.com/upload/2013/09/26/fi_singlepages-2.pdf)

Glamox Luxo Lighting. 2017. DALI. Luettu 13.4.2017

<http://glamox.com/fi/products/dali>

Greenled. 2016. Greenled tuotekortti Sirius M 2v4. Luettu 22.4.2017.

[https://greenled.fi/wp-content/uploads/2016/10/greenled\\_tuotekortti\\_sirius\\_m\\_2v4.pdf](https://greenled.fi/wp-content/uploads/2016/10/greenled_tuotekortti_sirius_m_2v4.pdf)

Greenled. 2016. Sovellusohje – aluevalaistus. Luettu 24.4.2017.

[https://greenled.fi/wp-content/uploads/2016/10/aluevalaistuksen-sovellusohje\\_greenled-v1.1.pdf](https://greenled.fi/wp-content/uploads/2016/10/aluevalaistuksen-sovellusohje_greenled-v1.1.pdf)

Haastattelu Mika Saari, LiCon-AT Oy:n toimitusjohtaja. Haastattelu LiCon-AT Oy:n Hyvinkään konttorilla 3.4.2017.

Harsia, P. & Kallioharju, K. 2015. Valaistussuunnittelu ja ohjaukset -kurssin luentomateriaali. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Harsia, P. & Kallioharju, K. & Piikkilä, V. 2015. Valaistussuunnittelu ja ohjaukset -kurssin luentomateriaali. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Hellman, J. 2017. Greenled Oy. Puhelinkeskustelu 24.4.2017.

Hide-a-lite. 2017. LED-koulu, 2 - Ominaisuudet. Luettu 5.4.2017

[http://www.hidealite.fi/LED-koulu/2\\_-\\_Ominaisuudet/2155184.html](http://www.hidealite.fi/LED-koulu/2_-_Ominaisuudet/2155184.html)

Kallioharju, K. 2015. Valaistussuunnittelu ja ohjaukset -kurssin luentomateriaali. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Kari, S. 2012. Valaistuksen ohjausjärjestelmät. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Luettu 22.4.2017.

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/42452/Simo%20Kari.pdf?sequence=1>

Koponen, P. 2010. Ratapihojen valaistussuunnitteluohje. Opinnäytetyö. Savonia-ammattikorkeakoulu. Luettu 22.3.2017.

<http://www.theseus.fi/handle/10024/13537>

Laaksovirta, A. 2016. Valaistuksen ohjaus rautatiealueilla. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Luettu 22.3.2017.

<https://www.theseus.fi/handle/10024/111908>

Laurila, Arto. 2017. Vanhempi konsultti, VR Track Oy. Puhelinkeskustelu 28.3.2017.

Liikenne- ja viestintäministeriö. 2016. VR:n velvoiteliikennettä lisätään junaliikenteen kilpailun avaamiseen saakka. Luettu 16.4.2017.

<https://www.lvm.fi/-/vr-n-velvoiteliikennetta-lisataan-junaliikenteen-kilpailun-avaamiseen-saakka>

Liikennevirasto. 2010. Henkilöliikennepaikkojen kehittämisohjelma – väliraportti. Luettu 15.4.2017.

[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/raportti\\_2010\\_henkiloliikennepaikkojen\\_kehittamisohjelma\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/raportti_2010_henkiloliikennepaikkojen_kehittamisohjelma_web.pdf)

Liikennevirasto. 2015. Liikenneviraston ohjeita 16/2015. Maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu. Luettu 17.2.2017

[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo\\_2015-16\\_maantie\\_rautatiealueiden\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2015-16_maantie_rautatiealueiden_web.pdf)

Liikennevirasto. 2016. Liikenneviraston väylätietoja 2/2016. Rautateiden verkkoselostus 2018. Luettu 15.4.2017

[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lv\\_2016-02\\_rautateiden\\_verkkoselostus\\_2018\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lv_2016-02_rautateiden_verkkoselostus_2018_web.pdf)

Liikennevirasto. 2016. Hyväksytyt tievalaisimet 6.7.2016. Luettu 23.4.2017.

[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/opas\\_2016\\_hyvaksytyt\\_tievalaisimet\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/opas_2016_hyvaksytyt_tievalaisimet_web.pdf)

Lumine Lighting Solutions Oy. 2017. Lumine 180. Luettu 26.4.2017.

<http://www.lumine.fi/fi/lumine-180-2/>

Mattila, H. 2010. Ledivalaisimet rautatiealueiden valaistuksessa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Luettu 10.4.2017.

<http://www.doria.fi/handle/10024/63060>

Motiva Oy. 2014. Elohopealamput poistuvat markkinoilta 2015 – mitä tilalle katuvalaistukseen? Luettu 15.2.2017.

[http://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/energiankayton\\_tehostaminen/valaistus/katu-ja\\_ulkovalaistus](http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/valaistus/katu-ja_ulkovalaistus)



Nousiainen, S. 2012. Katuvalaistuksen sähköenergian säästöjen kohdentaminen. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu.  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/46210/Nousiainen\\_Sebastian.pdf?sequence=2](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/46210/Nousiainen_Sebastian.pdf?sequence=2)

Nousiainen, Sebastian. VR Track Oy. Puhelinkeskustelut 22.2.2017 ja 24.4.2017.

OSRAM GmbH. 2017. Valonsäätöjärjestelmät – Teknologiat. Luettu 13.4.2017.  
[http://www.osram.fi/osram\\_fi/uutiset--tiedot/valonsaeaeoejaerjestelmae/teknologiat/index.jsp](http://www.osram.fi/osram_fi/uutiset--tiedot/valonsaeaeoejaerjestelmae/teknologiat/index.jsp)

OSRAM GmbH. 2017. Technical application guide 3DIM feature: DALI®, StepDIM, AstroDIM. Luettu 25.4.2017.  
[http://www.osram.fi/osram\\_fi/uutiset--tiedot/valonsaeaeoejaerjestelmae/teknologiat/3dim/index.jsp](http://www.osram.fi/osram_fi/uutiset--tiedot/valonsaeaeoejaerjestelmae/teknologiat/3dim/index.jsp)

Oulun Energia. 2015. Alenemakerroin tievalaistussuunnittelussa. Luettu 20.4.2017.  
[https://www.oulunenergia.fi/sites/default/files/attachments/jari\\_karppinen\\_-\\_alenemakerroin.pdf](https://www.oulunenergia.fi/sites/default/files/attachments/jari_karppinen_-_alenemakerroin.pdf)

Rantakallio, A. & Ylinen, A. 2011. Elohopealamput pois – mitä tilalle ja millä hinnalla? Aalto-yliopisto. Luettu 15.2.2017.  
[http://lightinglab.fi/ekovalo/News/3\\_ylinen\\_rantakallio\\_elohopealamput\\_pois.pdf](http://lightinglab.fi/ekovalo/News/3_ylinen_rantakallio_elohopealamput_pois.pdf)

Ratahallintokeskus (nykyinen Liikennevirasto). 2009. Rautatiealueen valaistusvaatimukset. Luettu 18.2.2017.  
[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk\\_rautatiealueen\\_valaistusvaatimukset.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf4/rhk_rautatiealueen_valaistusvaatimukset.pdf)

Sirkiä, M. 2013. Led-valaistuksen huolto ja kunnossapito rautatiealueiden matkustaja-alueilla. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Luettu 23.4.2017.  
<https://publications.theseus.fi/handle/10024/58330>

Sivustot.net. 2013. Lamppujen, valon ja valaistuksen ominaisuuksia. Luettu 16.2.2017.  
<http://www.sivustot.net/oppaat/valaisininfo.php>

Tampereen kaupunki. 2015. Liikenne ja kadut. Ulkovalaistus. Luettu 15.2.2017.  
<http://www.tampere.fi/liikenne-ja-kadut/katujen-rakentaminen-ja-kunnossapito/ulkova-laistus.html>

Tekes. 2015. Älykkäästi ohjatusta valaistuksesta Suomelle bisnestä. Luettu 22.4.2017.  
<https://www.tekes.fi/nyt/uutiset-2015/inkan-uutiset/alykkaasti-ohjatusta-valaistuksesta-tehdaan-suomelle-bisnesta/>

Valve, T. 2015. Julkisen ulkovalaistuksen saneeraus LEDeillä – ”Helsinki LED” -hankkeen kannattavuustutkimus. Diplomityö. Aalto-yliopisto, sähkötekniikan korkeakoulu. Luettu 11.4.2017.  
[https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/15199/master\\_Valve\\_Tommi\\_2015.pdf?sequence=1](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/15199/master_Valve_Tommi_2015.pdf?sequence=1)

Vesa, J. 2011. Runsaasti LED-standardeja jo valmiina. Plaani 3/2011, s. 20 - 22. Luettu 5.4.2017.

[http://nssoy.fi/uploads/Plaani311/Plaani\\_3\\_11\\_lowres.pdf](http://nssoy.fi/uploads/Plaani311/Plaani_3_11_lowres.pdf)

Vialuksi Oy. 2014. LED-valaisimet kaupunkiympäristö, tievalaistus, valonheittimet. Luettu 12.4.2017.

[http://www.vialuksi.fi/images/vialuksi\\_schreder\\_valaisimet\\_2014\\_pieni.pdf](http://www.vialuksi.fi/images/vialuksi_schreder_valaisimet_2014_pieni.pdf)

VR Group. 2016. Asemat, joilla matkustajaliikenne päättyy 26.3.2016. Luettu 16.4.2017.

<http://www.vrgroup.fi/fi/vrgroup/uutishuone/uutiset-ja-tiedotteet/asemat--joilla-matkustajaliikenne-paattyy/>

VTT. 2017. Uusia toiminnallisuksia valaistukseen antureilla ja langattomilla järjestelmillä. Luettu 22.4.2017.

<http://www.vtt.fi/palvelut/digitaalinen-maailma/%C3%A4lyk%C3%A4s-valaistus>

Ääri, E. 2017. C2 SmartLight Oy. Puhelinkeskustelu 21.4.2017.